



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Majuri, Erik

Pienten biojätevirtojen kuljetuskustannusten mallinnus

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen
akateeminen yksikkö
Kauppatieteiden pro gradu –tutkielma
Master’s Programme in Industrial
Management

Vaasa 2021

1.	JOHDANTO	5
1.1.	Tutkielman kohde ja tausta	5
1.2.	Tutkielman tavoitteet ja aiheen rajausta.....	6
1.3.	Tutkielman rakenne	6
2.	KIERTOTALOUS	8
2.1.	Kiertotalouden peruspiirteet	8
2.2.	Edellytykset kiertotalouden toimivuudelle.....	10
2.3.	Kiertotalous mahdollistajana	13
2.3.1	Yhteiskunnalliset vaikutukset.....	13
2.3.2	Liiketoimintamallit	14
2.4.	Materiaalien kierrätys ja uudelleenjalostaminen.....	17
2.4.1	Biojäte kierrätysliiketoimintana	19
3.	KULJETUKSET KIERTOTALOUDESSA.....	21
3.1.	Haasteet tulevaisuuden kuljetuksissa.....	21
3.2.	Toimet kuljetusten kehittämiseksi kiertotalouden mukaisiksi	23
3.3.	Kuljetuskustannukset.....	25
4.	JÄTELOGISTIIKKA	28
4.1.	Jätteiden kierrätys Suomessa	28
4.2.	Jätteen keräyksen ja kuljetusten ketju	29
5.	TUTKIMUSMENETELMÄT	31
5.1.	Menetelmä.....	31
5.2.	Tiedon kerääminen	31

5.3.	Aineiston käsittely.....	32
6.	TUTKIMUSTULOKSET.....	33
6.1.	Laskentaperusteet	33
6.1.1	Reitin muodostuminen.....	33
6.1.2	Laskentaluvut	36
6.2.	Kustannusten muodostuminen	37
6.2.1	Laskentakaavat.....	39
6.3.	Kustannukset ajoneuvoittain	40
6.3.1	Leasing.....	41
6.3.2	Kaasu	42
6.3.3	Diesel	43
6.3.4	Sähkö	44
6.4.	Kustannusten vertailu	45
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	50
7.1.	Pohdinta.....	50
7.2.	Yhteenveto.....	53
	LÄHTEET	55

KUVAT

Kuva 1 Kiertotalouden konsepti (Sauven ym. 2015).	10
Kuva 2 Kiertotalouden viisi liiketoimintamallia (Keeble ym. 2014).	15
Kuva 3 Toimintamallit tavaraliikenteen ympäristövaikutusten vähentämiseen (Tapaninen 2018:122).	25
Kuva 4 Kuljetuskustannuksiin vaikuttavat tekijät liikennejärjestelmätasolla (Tapaninen 2018: 32-33).	26
Kuva 5 Kuljetuskustannuksiin vaikuttavat tekijät kuljetusyrityksissä (Tapaninen 2018: 33).	27
Kuva 6 Jätteiden kuljetusketju (Berg ym. 2001: 21).	30
Kuva 7 Neliökilometrialueet yli 10kg biojätepäiväkertymä	33
Kuva 8 Alue 45 minuutin ajomatkan säteellä jäteasemasta	34
Kuva 9 Päivittäinen ajoreitti keruupisteiden välillä	35
Kuva 10 Leasing-ajoneuvon käyttökustannusten jakautuminen	41
Kuva 11 Kaasukäyttöisen ajoneuvon käyttökustannusten jakautuminen	42
Kuva 12 Dieselikäyttöisen ajoneuvon käyttökustannusten jakautuminen	43
Kuva 13 Sähkökäyttöisen ajoneuvon kustannusten jakautuminen	44
Kuva 14 Kokonaiskustannukset ajoneuvoittain 5 vuoden aikana	46
Kuva 15 Käyttökustannukset ajoneuvoittain 5 vuoden aikana	47
Kuva 16 Polttoainekustannukset ajoneuvoittain	48
Kuva 17 Käyttökustannukset yhtä noutoa kohden	49
Kuva 18 Kokonaiskustannukset yhtä ajokilometriä kohden	49

TAULUKOT

Taulukko 1 Kuljetusten toimintolaskennan sovellukset ja toteutus. (Liikenne ja viestintäministeriö 2003)	37
Taulukko 2 Ajoneuvon kustannuslaskennassa käytettävät laskukaavat (SKAL Ry)	39
Taulukko 3 Leasing-jäteajoneuvon käyttökustannukset viiden vuoden aikana	41
Taulukko 4 Kaasukäyttöisen ajoneuvon käyttökustannukset viiden vuoden aikana	42
Taulukko 5 Dieselikäyttöisen ajoneuvon käyttökustannukset viiden vuoden aikana	43
Taulukko 6 Sähkökäyttöisen ajoneuvon käyttökustannukset viiden vuoden aikana	44

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö**

Tekijä: Erik Majuri
Pro gradu -tutkielma: Pienten biojätevirtojen kuljetuskustannusten mallinnus
Tutkinto: Kauppatieteiden maisteri
Oppiaine: Tuotantotalous
Työn ohjaaja: Petri Helo
Valmistumisvuosi: 2021

Sivumäärä: 54

TIIVISTELMÄ:

Teollinen talousjärjestelmä on perustunut lineaariseen kulutusmalliin, jossa tuotteet valmistetaan, kulutetaan ja hävitetään. Luonnonvarojen rajallisuus ja ilmastonmuutos pakottaa järjestelmän muuttumaan kohti kiertotaloutta, jossa hävitettävät tuotteet muuttuvatkin resursseiksi. Toimivan kiertotalouden aikaansaamiseksi tavaroiden ja jätteiden kuljetukset tulee myös muuttaa ympäristöystävällisiksi ja raaka-aineiden kiertoa tukeviksi.

Tutkimus on osa suurempaa KiertoDigi-projektia, jonka tarkoituksena on luoda Etelä-Pohjanmaan alueelle toimiva kiertotalouskonsepti. Tämä tutkielma keskittyy mallintamaan alueen pienten biojätevirtojen keräämisen kustannuksia.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mistä biojätteen keräämisen kustannukset syntyvät ja mikä kuljetusmuoto olisi kustannustehokkain pienten biojätevirtojen keräämiselle. Lisäksi tutkielmassa tarkastellaan eri kuljetusvaihtoehtojen sopivuutta kiertotalouden periaatteisiin. Tutkimusongelman ratkaisemiseksi tutkimuksessa käytetään erilaisia tutkimusta tukevia järjestelmiä, kuten reitinoptimointisovellusta ja MS Exceliä. Teoriassa käsitellään kiertotaloutta, kuljetuksia kiertotaloudessa sekä jätelogistiikkaa.

Tutkimuksessa osoitetaan, että keräämisen kustannukset muodostuvat ajoneuvon hankintakustannuksista, työkustannuksista, ajoneuvon omistamisesta syntyvistä kiinteistä kustannuksista sekä muuttuvista kustannuksista, jonka merkittävin yksittäinen kulu muodostuu polttoaineista. Kokonaiskustannusten määrään vaikuttavat merkittävästi kerättävän jätteen määrä, keräyspisteiden määrä sekä ajettava reitti. Seinäjoen seudun biojätevirtojen keräämiseen kustannustehokkain vaihtoehto on Dieselkäyttöinen jätteenkuljetusauto. Otettaessa huomioon kiertotalouden periaatteet nousee kaasutoiminen jäteauto varteenotettavaksi vaihtoehdoksi.

AVAINSANAT: kiertotalous, biojäte, kustannuslaskenta, jätelogistiikka, jätekuljetus

1. JOHDANTO

Teollisessa taloudessa on perinteisesti sovellettu lineaarista kulutusmallia. Lineaarisessa mallissa kulutus tapahtuu järjestyksessä: valmista-käytä-hävitä. Tuotteet hävitetään, kun niitä ei enää tarvita. Ilmastonmuutos ja raaka-aineiden rajallisuus ovat kuitenkin pakottaneet yhteiskunnan etsimään tehokkaampia ratkaisuja. Vaihtoehto loputtomalle kulutukselle on kiertotalous. Elinikänsä lopussa olevat tuotteet muuttuvat resursseiksi synnyttäen suljettuja kehiä teollisuuteen, samalla vähentäen jätettä. Muutos kohti kiertotaloutta vähentäisi kasvihuonekaasuja ja lisäisi merkittävästi työpaikkoja. (EllenMacArthur foundation 2013: 6, Stahel 2016, Stahel 2019: 16.)

Yksi kiertotalouden osa-alueista on biologisten materiaalien kierrätys ja jalostaminen. Jalostamalla kotitalouksien biojätettä pystytään valmistamaan biopolttoainetta. Ennen arvottomaksi luokiteltu jäte voidaan nykyteknologialla muuttaa arvokkaaksi polttoaineeksi. Biomassan hyödyntäminen polttoaineiden valmistuksessa on lisääntynyt laajalti ympäri maailmaa (Rättö, Siika-aho & Vikman 2009: 26).

Kun kerättävän yhdyskuntajätteen hinta on olematon tai jopa negatiivinen, nousevat logistiset kustannukset merkittävään asemaan tarkasteltaessa biojalostuksen kannattavuutta (Rättö ym. 2009: 51-52). Onkin olennaista tietää yhdyskuntajätteiden todelliset keruukustannukset, kun luodaan kiertotalouteen perustuvaa järjestelmää.

1.1. Tutkielman kohde ja tausta

Tämä tutkielma on osa suurempaa KiertoDigi-projektia, jossa pyritään kehittämään Etelä-Pohjanmaan alueelle toimiva kiertotalouskonsepti sekä lisäämään kiertotaloutta digitaalisten sovellusten avulla. Tässä tutkielmassa keskitytään pienten biojätevirtojen

hyödyntämiseen. Tutkielman kohteena ovat Seinäjoen seudun kotitalouksien ja pienten yritysten biojäte. KiertoDigi- projektin toteuttajina ovat Vaasan ja Tampereen yliopistot. Lisäksi projektissa on mukana useita Etelä-Pohjanmaalla sijaitsevia yrityksiä.

1.2. Tutkielman tavoitteet ja aiheen raja

Tämän tutkielman tavoitteena on selvittää pienten biojätevirtojen keräämisen kustannukset sekä kustannustehokkain ja kiertotalouden periaatteisiin parhaiten sopiva kuljetustapa pienille biojätevirroille. Tavoitteen saavuttamiseksi pyrkimyksenä on selvittää keruun kustannuksiin vaikuttavat tekijät ja luoda toimiva kustannusmalli biojätteen keräämiselle.

Tutkimuskysymykset ovat:

Mistä pienten biojätevirtojen keräämisen kustannukset syntyvät?

Mikä kuljetustapa on kustannustehokkain keruutapa pienille biojätevirroille?

Aihe on rajattu alueellisesti Etelä-Pohjanmaalle ja erityisesti Seinäjoen kaupungin ympäristöön. Tutkimuksessa keskitytään kuljetusmuodoista ainoastaan maantiekuljetuksiin. Biojätteen keruu rajautuu tutkielmassa pieniin biojätevirtoihin, joita syntyy kotitalouksissa sekä pienten yritysten, kuten ravintoloiden, toiminnasta. Tällöin tästä tutkimuksesta on rajattu pois suurten yritysten tuottama biojäte.

1.3. Tutkielman rakenne

Tutkielma jakautuu kahteen pääosuuteen. Ensimmäinen osuus sisältää tutkimusaiheen teoreettisen viitekehyksen, jossa perehdytään aiheesta tehtyihin tutkimuksiin ja

kirjallisuuteen. Empiirisessä osuudessa sovelletaan kerättyä tietoa ja etsitään ratkaisua tutkimuskysymyksiin.

Tutkielma koostuu tarkemmin seitsemästä pääkappaleesta. Ensimmäinen johdantokappale johdattaa lukijan tutkimuksen aiheeseen ja kertoo lyhyesti tutkielman sisällön. Toinen kolmas ja neljäs kappale esittelevät lukijalle aiheesta jo aiemmin kirjoitettua tutkimustietoa ja kirjallisuutta. Teoriakappaleet on jaettu aihealueittain: Kiertotalous, Kuljetukset kiertotaloudessa sekä Jätelogistiikka. Kiertotalous-kappaleessa esitellään kiertotalouden yleispiirteitä ja periaatteita. Kolmas kappale (Kuljetukset kiertotaloudessa) käsittelee kuljetusten roolia kiertotaloudessa ja sitä, miten kuljetuksista saadaan kestäviä ja kiertotalouden periaatteita noudattavia. Neljännessä kappaleessa (Jätelogistiikka) perehdytään jätelogistiikkaan.

Viidennessä pääkappaleessa esitellään tutkimuksessa käytetyt tutkimusmenetelmät. Kappale sisältää tutkimuksessa käytetyt menetelmät ja sen, miten tieto tutkimusta varten on kerätty. Lisäksi kappale esittelee tutkimuksen aineiston ja sen, miten aineistoa empiirisessä vaiheessa käsitellään. Kuudennessa kappaleessa esitellään empiirisen tutkimuksen tuloksia ja analysoidaan niitä. Tutkimustulokset saadaan Excelillä toteutettujen laskelmien pohjalta. Viimeisessä Johtopäätökset-kappaleessa pohditaan saatuja tuloksia. Johtopäätökset-kappale sisältää myös tutkimuksen yhteenvedon.

2. KIERTOTALOUS

2.1. Kiertotalouden peruspiirteet

Kiertotaloudessa on kyse kokonaan uudesta taloudellisesta järjestelmästä. Se tulee korvaamaan lineaarisen kulutusmallin, jossa tuotteet hävitetään niiden elinkaaren päätyttyä vähentämällä, uusiokäyttämällä, kierrättämällä ja talteen ottamalla materiaaleja tuotanto- ja kulutusprosesseissa. Kiertotaloudessa pyritään käyttämään uusiutuvia energiamuotoja ja vähentämään myrkyllisten raaka-aineiden käyttöä. Myrkylliset raaka-aineet vaikeuttavat tuotteiden uudelleenkäyttöä. Edellisten lisäksi kiertotaloudessa pyritään jätteiden vähentämiseen ja poistumiseen uudenlaisen materiaalisuunnittelun, tuotteiden, järjestelmien ja uusien liiketoimintamallien myötä. (Ellen MacArthur foundation 2013: 7; Hekkert, Kirchherr & Reike 2017: 228-229; Bocken, Geissdoerfer, Hultink & Savaget 2017: 766.)

Ellen MacArthurin säätiö (2013) kertoo julkaisussaan kiertotalouden perustuvan viiteen avainkohtaan.

1. Tuotteiden suunnittelu jätteettömiksi
2. Joustavuuden luominen hyödyntämällä monimuotoisuutta
3. Uusiutuvan energian käyttäminen
4. Järjestelmäajattelu
5. Jätteet ovat raaka-aineita

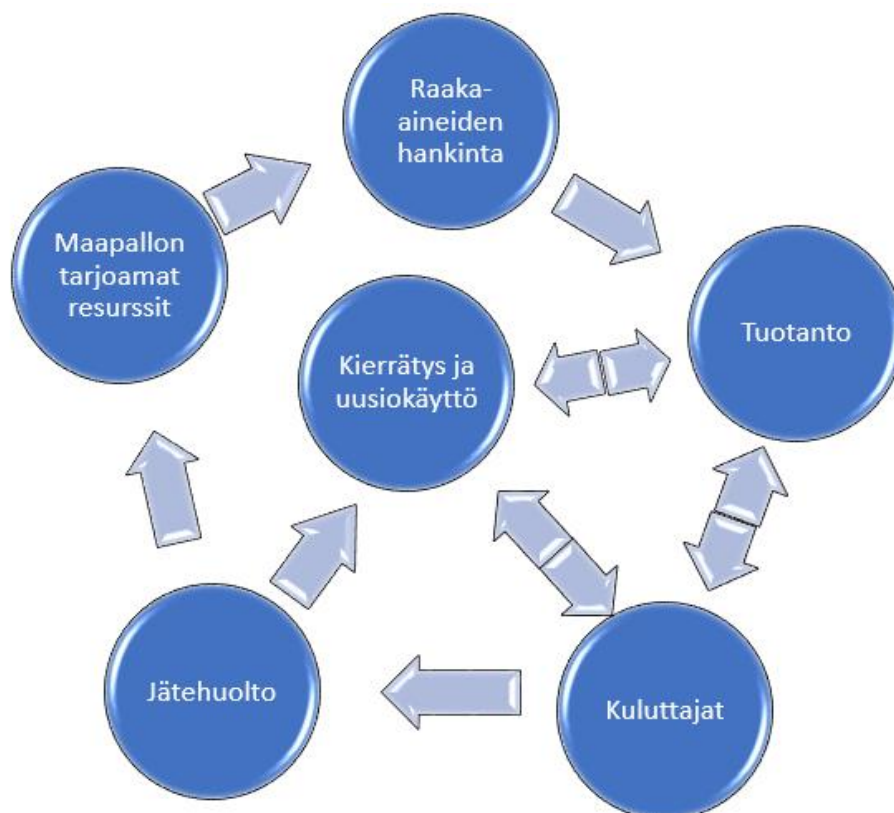
Kiertotaloudessa tuotteet tulee suunnitella niin, että ne soveltuvat mahdollisimman hyvin biologisiin tai teknologisiin kiertoihin. Biologiset, myrkyttömät raaka-aineet on helppo

kompostoida tai jalostaa. Tekniset, ihmisten valmistamat materiaalit taas pitäisi olla helppoa käyttää uusiin tarkoituksiin. Tuotteiden monipuolisuudella ja mukautuvuudella saadaan tuotteista ja järjestelmistä joustavampia. Kiertotalous perustuu myös uusiutuvien energiamuotojen käyttöön, sillä peruseriaatteisiin kuuluu raaka-aineiden kierto, mikä ei uusiutumattomilla energiamuodoilla ole mahdollista. Kyky ymmärtää, miten eri osat vaikuttavat toisiinsa muodostaen kokonaisuuksia ja miten kokonaisuudet vaikuttavat eri osiin, on erityisen tärkeää kiertotalouden toteutumiselle. Järjestelmäajattelussa virtaukset ja yhteydet korostuvat ja se luo edellytykset uusiutuville olosuhteille. Kiertotalouden perustana on myös se, että jätteet ovat raaka-aineita. Kiertotalouden ytimenä on, että niin teknologiset kuin biologiset tuotteet kehitetään uudelleen käytettäväksi. (Ellen MacArthur foundation 2013.)

Kiertotalouden ideologia eroaa lineaarisesta kulutusyhteiskunnasta monin eri tavoin. Kiertotaloudessa valmistettujen varojen arvoa ja hyötyä halutaan ylläpitää niin arvokkaana ja hyödyllisenä kuin mahdollista sekä niin kauan aikaa kuin on mahdollista. Lineaarisessa taloudessa pyrkimyksenä on luoda uutta arvoa ja kasvattaa tehokkuutta tuotteiden valmistuksessa kiertotalouden arvon ylläpidon ja tuotteiden käytettävyyden tehokkuuden sijaan. (Stahel 2019: 6-7.)

Sauven, Sloanin ja Bernardin (2015: 51-52) tutkimuksessa esiintyvä kuva mallintaa kiertotalouden konseptia (katso Kuva 1). Kuvasta voidaan nähdä, että kiertotaloudessa syntyy suljettuja ketjuja. Resursseilla ei ole tällöin elinkaaren loppua, vaan ne kiertävät suljettuja kehiä. Kiertotaloudessa tavoitteena on optimoida luonnon resurssien käyttöä sekä minimoida jätteiden ja saasteiden syntymistä jokaisella tasolla. Ellen MacArthur säätiö (2013) jakaa raportissaan kehät biologisten ja teknisten raaka-aineiden mukaan. Biologisista ja teknisistä raaka-aineista muodostuu erilaisia suljettuja kehiä. Olennaista molempien resurssien kohdalla on kuitenkin, että erilaisia keinoja käyttäen raaka-aineet ja tuotteet saadaan kulkemaan suljettuja kehiä synnyttäen mahdollisimman vähän resurssihukkaa.

Kaikkia resursseja ei luonnollisestikaan pystytä kierrättämään, mutta pyrkimyksenä on saada ne kiertämään kehissä mahdollisimman pitkän ajan (Bodova 2017: 1700).



Kuva 1 Kiertotalouden konsepti (Sauven ym. 2015).

2.2. Edellytykset kiertotalouden toimivuudelle

Muutos lineaarisesta kulutusmallista kiertotalouteen ei tule tapahtumaan pelkästään markkinoiden ohjaamana. Vaatii julkisia toimia, että infrastruktuuri ja poliittiset toimet toisivat yrityksille parempia edellytyksiä toimia kiertotalouden periaatteiden mukaisesti. (Valtioneuvosto 2016: 16; Skånberg & Wijkman 2015: 8.)

Jotta teollisuus saataisiin täysin mukaan kiertotalouteen, on tarjottava taloudellisia kannustimia kuluttajatuotteiden liittämiseksi uusiin prosesseihin. Kestävien ja kierrätettävien tuotteiden valmistus on usein kalliimpaa kuin kertakäyttöisten. Liiketoiminnassa pyritään maksimoimaan voitot, jolloin tuotteita on kannattavampaa valmistaa lineaarisen talousmallin mukaan. (Bernard ym. 2016.) Paras mahdollinen tilanne olisi, että markkinat ohjaisivat yritykset kiertotaloudellisiin toimiin. Valtioneuvoston julkaisun (2016:16) mukaan kiertotalouden kehittymistä jarruttavat useat eri tekijät: Ensinnäkin luonnosta saatavien raaka-aineen käyttäminen on halvempaa kuin kierrätettyjen raaka-aineiden käyttäminen, toisaalta verotuksessa painotetaan enemmän työtä kuin luonnon resurssien käyttöä, kolmanneksi jätettä poltetaan liikaa ja se on liian kustannustehokasta, neljäntenä seikkana mainitaan, että markkinat uupuvat kierrätetyille raaka-aineille, viidenneksi asiaksi todetaan, että kierrätyksen järjestäminen ei ole kannattavaa monilla alueilla ja kiertotalouteen liittyvä byrokratia hankaloittaa yrityksiä aloittamaan kestävää liiketoimintaa. Jotta kiertotaloutta pystytään edistämään, on olennaista, että julkisilla toimilla poistetaan esteitä ja madalletaan kynnystä kiertotalouden toteutumiselle (Valtioneuvosto 2016: 16). Julkisen sektorin keinoina on ensinnäkin kehittää valtion toimintoja kiertotalouden mukaiseksi, mutta sen lisäksi myös luoda parempia edellytyksiä yrityksille toimia kiertotalouden periaatteiden mukaisesti (Sitra 2014).

Ellen MacArthur säätiö (2015) pitää olennaisena, että yritykset panostavaisivat vahvistamaan ja uusiutuvaan materiaali- ja tuotesuunnitteluun. Yritysten pitäisi pyrkiä luomaan ydinosaamista tuotteiden kierron kehittämisestä, jotta tuotteiden uusiokäyttö ja kierrätys helpottuisi. Ydinosaamisen saavuttaminen vaatii paljon uutta tietoa, kehittyneitä taitoja ja uusia toimintatapoja. Kiertotalouden muodostumista valtavirraksi helpottaisi, kun esimerkiksi muutama merkittävän markkina-aseman omaava yritys integroisi tuotantonsa kiertotalouden mukaiseksi. Toimivat ja kannattavat liiketoimintamallit ruokkisivat muita toimimaan samalla tavoin. Edellytyksenä toimivalle kiertotaloudelle on toimiva paluulogiikka ja toimet, joilla tuotteet jälleen saadaan takaisin kaupattaviksi. Kun

logistiset toimet ovat tehokkaampia ja parempilaatuisia, materiaalien ajautuminen kiertojen ulkopuolelle vähenee. Tämän vuoksi olennaista on rakentaa toimivat olosuhteet ja infrastruktuuri, jotta muutos kohti kiertotaloutta toteutuisi. (Ellen Macarthur foundation 2015.)

Lacyn ja Rutqvistin (2015: 24) mukaan siirtyminen lineaarisesta taloudesta kiertotalouteen vaatii uudenlaisia komponentteja, joita voidaan päivittää ja kunnostaa niiden tuhoamisen ja korvaamisen sijaan. Erityisesti se vaatii ymmärrystä kysynnästä. On olennaista ymmärtää, miten asiakkaat saadaan sitoutettua heidän rooliinsa kiertotaloudessa. Asiakkaat ovat alkaneet arvostamaan entistä enemmän kestäviä arvoja, mikä ohjaa myös yrityksiä toimimaan kiertotalouden mukaisesti. Kysyntä siis ohjaa yrityksiä kestävämpään suuntaan, sillä asiakkaat eivät pelkästään tarkastele tuotteiden hintoja, vaan haluavat tietää tuotteeseen kulutettujen resurssien ja energian määrän. (Lacy & Rutqvist 2015: 24-26.) Kiertotalouteen siirtyminen ei onnistukaan ilman kokonaisvaltaista asenteiden muutosta (Hood 2016: 438-440). Yksityisten kuluttajien roolia kiertotalouden edistymisessä ei sovi vähätellä. Vanhat kulutustottumukset ja arvot on saatava muutettua niin, että kierrätetyt, uudelleenvalmistetut ja jakamistalouteen perustuvat tuotteet nähdään yhtä hyvinä kuin täysin uudet. Kuluttajat määrittelevät sen, minkälaisia uusia kiertotaloutta edistäviä innovaatioita ja liiketoimintamalleja syntyy. (Sitra 2014.)

Sitran (2014) mukaan kiertotalouden edistyminen edellyttää ennen kaikkea yksityisten yritysten panosta. Edistyminen edellyttää yrityksiltä muutoksia tuotteissa ja tuotantoprosesseissa niin, että ne mahdollistavat suljettujen kiertojen syntymistä. Tällöin kehittymistä täytyy tapahtua myös liiketoimintamallien osalta. Kiertotalouden toteutuminen ei kuitenkaan ole pelkästään yksityisen sektorin haaste, vaan se edellyttää aktiivista ja tiivistä yhteistyötä julkisen sektorin kanssa.

2.3. Kiertotalous mahdollistajana

Lineaarisen talouden ja kulutuksen rajat ovat entistä lähempänä luonnonvarojen vähenemisen sekä ympäristön kuormituksen kontekstissa. Lineaarisen kulutuksen rajallisuuden vuoksi kiertotalouden toteutuminen on ajan myötä välttämätöntä. Välttämättömyyden lisäksi kiertotalous tuo mukanaan paljon uusia mahdollisuuksia ja hyötyjä. Uusi kulutusmalli tuo paljon uusia liiketoiminnan mahdollisuuksia ja vaikuttaa positiivisesti yhteiskuntaan sosiaalisissa, ympäristöllisissä ja taloudellisissa asioissa. (Ellen MacArthur foundation 2014: 12-19.) Todellisten vaikutusten arviointi ei ole kuitenkaan yksinkertaista, mutta kasvupotentiaalia on nähtävissä niin sosiaalisissa, taloudellisissa ja ympäristöllisissä alueissa. (Valtioneuvosto 2016.)

2.3.1 Yhteiskunnalliset vaikutukset

Siirtyminen kohti kiertotaloutta aikaansaa yhteiskunnallisia positiivisia vaikutuksia useissa eri asioissa. Kiertotaloudella on selkeä yhteys kasvihuonekaasujen vähenemiseen. Tehokkaampi jätteenhallinta ja alhaisempi energian sekä resurssien käyttö tuotannossa vähentää haitallisia vaikutuksia ilmastolle. Luonto pysyy kiertotaloudessa luonnonmukaisempana, kun esimerkiksi louhinta vähenee. (Euroopan Parlamentti 2016.) Toisaalta kiertotalous aiheuttaa uusia toimintoja, jotka lisäävät ympäristön kuormitusta. Tällöin onkin olennaista, että uudet toimijat käyttävät uusia ja kestäviä toimintamalleja. (Valtioneuvosto 2016.)

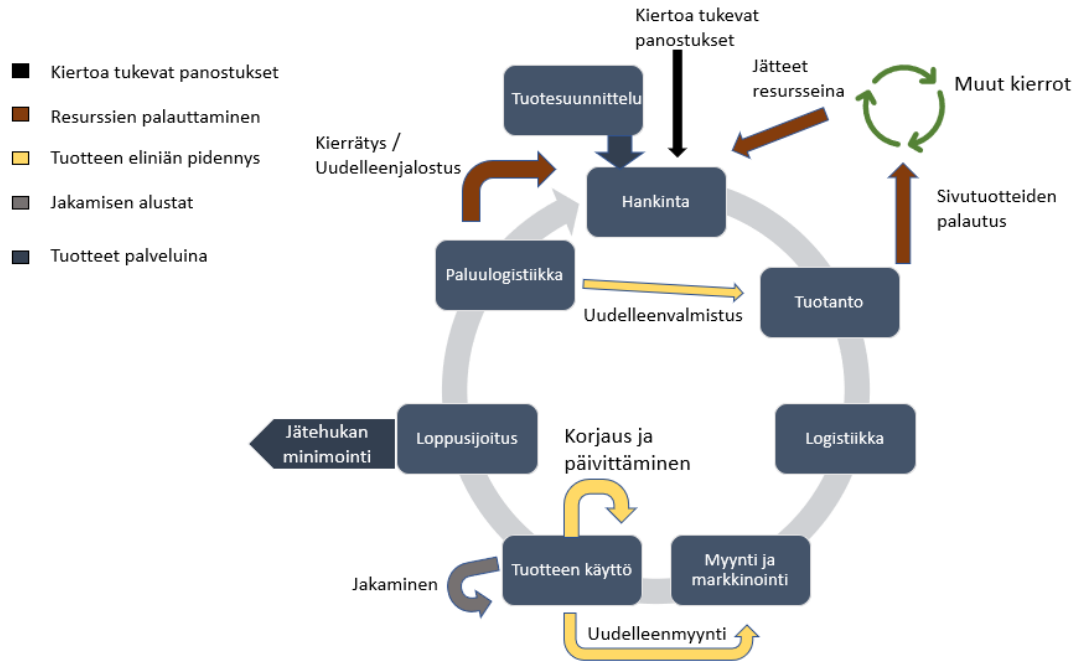
Kiertotaloudella on niin ikään huomattavia positiivisia vaikutuksia taloudellisesti. Ellen MacArthur säätiön tekemän arvion (2015b) mukaan kiertotalouteen siirtyminen voisi tuoda jopa 1,8 biljoonan euron hyödyt Euroopan talouteen ja vähentää resursseihin käytettävää pääomaa 0,6 biljoonalla eurolla Euroopassa. Uusia innovaatioita syntyy, kun toimintaa

kehitetään kestävämmäksi. Kiertotalouden aiheuttama taloudellinen kasvu toisi merkittävästi uusia työpaikkoja. (Euroopan Parlamentti 2016.)

2.3.2 Liiketoimintamallit

Jotta kiertotalous tulevaisuudessa toimisi ja ympäristö, sosiaalinen sekä taloudellinen yritysvastuu toteutuisivat, liiketoiminnot eivät voi jatkua nykyiseen tapaan. Kiertotalous on yrityksille velvoite, mutta se tarjoaa lukuisia uusia liiketoiminnan mahdollisuuksia. (Keeble, Lacy & McNamara 2014.) Soveltamalla kiertotalouden periaatteita, yritykset pystyvät parantamaan kustannustehokkuutta liiketoiminnassaan sekä ennakoimaan ympäristöstä saatavien luonnonvarojen niukkuutta toiminnassaan. Kiertotaloudessa yritykset saavat kilpailuetua materiaalien kiertoon keskittyvillä liiketoimintamalleillaan. (Valtioneuvosto 2016.)

Keeble ym. ovat koonneet (2014) kiertotalouden mahdollistamat liiketoimintamallit viiteen eri kategoriaan (ks. Kuva 2). Jokaisella viidestä kategoriasta on omat erityispiirteensä, mutta kaikkien niiden pyrkimyksenä on aikaansaada kasvua kuormittamatta ympäristöä. Kiertotalouden liiketoimintamalleilla saadaan lisättyä resurssien tuottavuutta merkittävästi. Prosessien osalta liiketoimintamallit parantavat erottautumiskykyä ja asiakasarvoa, vähentää palveluiden ja omistamisen kustannuksia sekä tuottaa uusia tuloja ja vähentää yritysriskiä.



Kuva 2 Kiertotalouden viisi liiketoimintamallia (Keeble ym. 2014).

Kiertoa tukevien panostusten liiketoimintamalli perustuu täysin uusiutuvien, kierrätettävien ja biohajoavien resurssien tarjoamiseen. Kyseiset resurssit tukevat kiertävää tuotantoa ja kiertävää kulutusjärjestelmää. Kiertoa tukevien panostusten myötä yritykset voivat luopua lineaarisesta tuotannosta ja ympäristöstä saatavien resurssien käytöstä. Samalla myös jätemäärät vähenevät ja epätehokkuudet prosesseista poistuvat. Tämä liiketoimintamalli sopii erityisesti yrityksille, jotka kamppailevat niukkojen ja kalliiden resurssivarojen kanssa. (Keeble ym. 2014.) Se, mitä materiaaleja ja energiamuotoja tuotannossa käytetään, kuuluu tuotesuunnittelun tehtäviin (Valtioneuvosto 2016).

Yksi viidestä liiketoimintakategorioista on resurssien palauttaminen. Tässä liiketoimintamallissa pyritään palauttamaan tuotteeseen upotettu arvo kierrättämällä ja uusiokäyttämällä, kun tuote on elinkaarensa lopussa. Perinteistä kierrättämistä on tehty jo vuosia, mutta erityisiä mahdollisuuksia tuovat uudet teknologiat ja osaaminen. Niiden avulla pystytään hyödyntämään miltei mikä tahansa resurssi millä tahansa arvoketjun

tasolla niin, että arvo vastaa alkuperäistä tai jopa ylittää sen. Mallin avulla yritykset voivat eliminoida materiaalien ja resurssien hukan sekä maksimoida tuotteiden paluuvirtojen taloudellisen arvon. (Keeble ym. 2014.)

Kiertotaloudessa liiketoimintaa voidaan perustaa myös tuotteen eliniän pidentämisen perustalle. Arvo muodostuu tällöin siitä, kun tuotteen elinikää pidennetään esimerkiksi korjaamalla ja päivittämällä sitä. Ilman toimenpiteitä tuotteiden arvo menetetään. Tuotteiden elinikää eri toimenpiteillä pidentämällä yritykset voivat pitää tuotteet taloudellisesti hyödyllisinä mahdollisimman pitkän ajan ja päivittämällä mahdollistavat sen, että koko tuotetta ei tarvitse uusia. (Keeble ym. 2014). Tuotteiden käyttöiän pidentämiselle voidaan erotella viisi tyypillistä toimenpidettä: kunnostaminen, uudelleenkäyttö, päivittäminen, uudelleenvalmistus ja uudelleenmyynti (Valtioneuvosto 2016.)

Jakamisen alustat on myös yksi kiertotalouden liiketoimintamalleista. Alustat mahdollistavat tuotteiden yhteiskäytön eri käyttäjien keskuudessa. Tarkoituksena on saada tuotteiden käyttöastetta parannettua ja kasvattaa tuotteiden tuottavuutta ja asiakasarvoa. (Keeble ym. 2014.) Liiketoimintamallin kilpailutekijä on tehokkaassa resurssien käytössä. Alustat voivat myös toimia omistajanvaihdosten perustalla, jolloin tulot saadaan esimerkiksi mainostulojen kautta. Kyseisen liiketoimintamallin mahdollistaa erityisesti sosiaalisen median yleistymisen ja kehittyneet sovellukset. (Valtioneuvosto 2016.)

Lisäksi kiertotaloudessa liiketoimintana voi olla tuotteet palveluina. Se on vaihtoehtona perinteiselle ”osta ja omista” -ajattelulle. Tuotteita ei tällöin enää omisteta, vaan ne vuokrataan tai ostetaan tuotteen sijasta käyttöoikeus. Tuotteiden ollessa palveluna intressit tuotteen suorituskykyyn ja kestävyys ovat täysin toisenlaiset verrattuna perinteiseen volyymikeskeiseen tuotantoon. (Keeble ym. 2014.) Tuotteiden palvelullistaminen ja vuokraaminen mahdollistaa myös useita eri käyttäjiä samalle tuotteelle. Yritykset saavat kilpailuetua liiketoimintamallissa tuotteiden pitkäikäisyyden, korjattavuuden ja uudelleenkäytettävyyden kautta. (Valtioneuvosto 2016.)

Valtioneuvoston mukaan (2016) kiertotalouden liiketoimintamallina voi olla myös tuotantoprosessien optimointi. Se tarkoittaa sitä, että yritykset pyrkivät poistamaan kaikki ylimääräiset raaka-aineet ja kustannukset prosesseista. Tehokkuuden avulla yrityksen tuottama jäte vähenee ja raaka-aineita ja sivutuotteita saadaan hyödynnettyä paremmin.

2.4. Materiaalien kierrätys ja uudelleenjalostaminen

Yksi Keeblen ym. (2014) ja Valtioneuvoston (2016) mainitsemista liiketoimintamalleista kiertotaloudessa on materiaalien kierrätys. Liiketoiminta perustuu siihen, että jätteet toimivat raaka-aineina ja pitävät sisällään tietyn arvon. Eri jätemuotojen volyymit vaihtelevat. Suurin taloudellinen potentiaali sisältyy volyymiltaan suurten ja sisällöltään arvokkaiden jätteiden kierrättämiseen. (Valtioneuvosto 2016.) Kierrätysliiketoiminta on hyvin moninaista, jonka vuoksi myös yritysmuotoja on useita erilaisia (Aarras 2015: 100). Yritystoimintaa, perinteisen kierrättämisen lisäksi, kiertotaloudessa toteutetaan jalostamalla jätettä uusiin olomuotoihin, jotka lisäävät kierrätettävän aineen arvoa (Valtioneuvosto 2016.) Kierrätysliiketoimintaa lisää entisestään myös luonnonvarojen rajallisuus ja sen aiheuttama raaka-aineiden hintojen nousu. Yritykset pyrkivät siten löytämään keinoja, millä voivat turvata, ottaa takaisin ja uusiokäyttää valmistettaviin tuotteisiin käytetyt resurssit. (Lacy & Rutqvist 2015: 52.)

Varsinainen kierrätys- ja uudelleenjalostusliiketoiminta perustuu ajatukselle, että uusien teknologioiden ja oikein toteutetun paluulogistiikan avulla voidaan tuotannosta saada täysin jätteetöntä. Olennaista roolia toiminnassa näyttelee niin sanottujen paluuvirtojen hallitseminen: miten hävitettävät tuotteet ja raaka-aineet saadaan kerättyä takaisin ja miten niitä tulisi prosessoida. Perinteisessä kierrätyksessä ja kierrätysliiketoiminnassa on erilaiset perusideat. Kierrätysliiketoiminnassa pyritään maksimoimaan jätteistä saatavat tulot, käyttämällä niitä myytäviin tuotteisiin, kun taas perinteinen kierrätys on enemmänkin

nähty ongelmana, joka pitää ratkaista lainsäädännön ja jätehuollon keinoin. (Lacy & Rutqvist 2015: 52-53.) Erilaisten tuotteiden valmistaminen jätteineksistä on usein hankalampaa kuin valmistaminen luonnosta saatavilla resursseilla. Kierrätysliiketoiminnassa prosessit tulee hioa erittäin tehokkaiksi ja uudistunutta teknologiaa tulisi hyödyntää, jotta toiminnasta saadaan kannattavaa. Kaikkia jätemuotoja ei ole kuitenkaan taloudellisesti järkevää kierrättää, vaikka sen jalostamiseen olisi kehitetty riittävät keinot. Erityisesti teollisuudesta ja suurilta laitoksilta tuleva jäte on taloudellisesti järkevää jalostaa sen tasalaatuisuuden vuoksi. Kuluttajilta saatava jäte on usein sekavampaa ja työläämpää käsitellä. Toisaalta kuluttajilta saatavan jätteen kierrättäminen herättää asiakkaiden kiinnostusta tuotteita kohtaan. Kierrätysliiketoiminnan tuottavuuden kannalta onkin olennaista, mitä jättemateriaaleja käsitellään. (Aarras 2015: 115-116.)

Kierrätysliiketoiminnasta saatavia hyötyjä on useita ja ne on suhteellisen helppoa nähdä. Samalla kun kierrättäminen säästää ympäristöä ja luonnonresurssien kulutusta, se pienentää kustannuksia jätteenkäsittelyssä. Kierrätysliiketoiminnan myötä sivutuotteiden arvo saadaan hyödynnettyä. Asiakkaat saavat myös miellyttävämpiä tapoja hävittää tuotteitaan, kun ne menevät hyötykäyttöön. Kierrättäminen luo uudenlaisia rajapintoja asiakkaiden ja yritysten välille, kun resurssit valmistukseen hankitaankin asiakkailta. (Lacy & Rutqvist 2015: 53-54.) Optimitilanteessa kierrätysliiketoiminnasta aiheutuu molempia, taloudellisia ja ympäristöllisiä hyötyjä. Kierrätysliiketoiminta ei kuitenkaan aina ole hyödyllistä ympäristölle tai päinvastoin se ei ole taloudellisesti kannattavaa. Silloin olosuhteet niin kutsutulle ”win-win” tilanteelle tulisi rakentaa eri toimilla. (Aarras 2015: 142-143.)

Yritystoiminnan sijainti on merkittävässä roolissa ja yksi keskeisimmistä kysymyksistä kierrätysliiketoiminnassa etenkin strategisesti. Kuljetukset ovat usein selkeä kulu kierrätysliiketoimintaa harjoittaville yrityksille, mikä tekee sijainnista ja etäisyyksistä olennaisen taloudellisista sekä ympäristöllisistä näkökulmista. Yritystoiminnan sijainnin valintaan vaikuttavat keskeisesti alueella syntyvien jätteiden laatu ja volyymi.

Kierrätystoimintaa harjoittavat yritykset pyrkivät valitsemaan liiketoiminnalleen keskeisen sijainnin. Useimmissa tapauksissa jätteet ovat kustannustehokkainta käsitellä mahdollisimman lähellä sen syntypaikkaa. Materiaalien laatu taas määrittää sen, kannattaako jätettä kuljettaa kauempaa. (Aarras 2015: 120-124.)

Kierrättämisen kannalta olennaista olisi myös kehittää tuotteita biologisista raaka-aineista. Tällöin neitseellisten raaka-aineiden käyttö vähenee hyvin todennäköisesti. Biologisesta materiaalista valmistetut tuotteet ovat helpompia kierrätettäviä. Kiertotaloudessa on tavoitteena, että kierrätys ja uusiokäyttö vähentävät neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Tämä on omiaan luomaan uusia liiketoimintamahdollisuuksia, yrityksiä ja toimitusketjuja, jotka ajan myötä syrjäyttävät lineaariseen tuotantoon perustuvia organisaatioita. (Larsson 2018: 169-170.)

2.4.1 Biojäte kierrätysliiketoimintana

Asuinkiinteistöissä syntyvästä sekajätteestä noin 40 prosenttia on biojätettä. Vuonna 2014 suomessa erilliskerättiin biojätettä yhteensä 370 000 tonnia (Suomen virallinen tilasto 2012). Biojätteestä kierrätetään suomessa suurin osa. Biojätettä jalostetaan pääosin kompostoimalla erilaisiksi lannoitteiksi sekä biokaasulaitoksilla polttoaineiksi. Kansainväliset ilmastotavoitteet ovat lisänneet entisestään uusiutuvien energiamuotojen käyttöä, minkä vuoksi myös biopolttoaineiden kysyntä on kasvanut. Biopolttoaineiden käytössä on etuna se, että siitä ei synny ilmaston lämpenemistä aiheuttavia hiilidioksidipäästöjä toisin kuin fossiilisista polttoaineista. (Pirkkamaa 2014: 6-19.)

Biojätteestä jalostettava energia on kiertotalouden periaatteita noudattaen uusiutuvaa. Sen valmistuksessa käytetään biomassaa. Se on mitä vain orgaanista materiaalia, mikä saa energiansa auringosta. Tyypillisiä raaka-aineita biopolttoaineiden valmistuksessa ovat

esimerkiksi maatalousjätteet, jätevesi ja ruokajätteet. Biopolttoaineen raaka-aineet ovat suhteellisen edullisia ja tuotanto on ympäristöystävällistä. Jätteet ovat erinomaista raaka-ainetta polttoaineille verrattuna tarkoituksellisesti biopolttoaineen valmistukseen kasvatettavaan biomassaan, sillä jätteet eivät kilpaile jatkuvasti kasvavan ruuantarpeen kanssa. (Sadhan 2016: 33.)

Biomassaa käytetään niin ikään suoraan energian tuottamiseen kuin myös välillisesti biopolttoaineiden valmistukseen. Yksi tapa varastoida energiabiomassasta on mädätys, jolloin biomassasta vapautuu kaasuja, jotka varastoidaan. Biokaasua voidaan käyttää esimerkiksi talojen lämmittämisessä tai autoissa polttoaineena. Biomassasta jalostetaan myös etanolia, biodieseliä ja erilaisia fossiilisten- ja biopolttoaineiden yhdistelmiä. (Sadhan 2016:33-34.) Biojätettä käytetään yhä enemmän myös muovin ja kumin raaka-aineena. (Corrado & Sala 2018). Biojättesektorilla onkin kehitetty useita kiertotaloutta edistäviä innovaatioita uusien materiaalien, prosessien ja aineiden muodossa. EU pyrkii myös rahoittamaan biomassaa ja biojätettä hyödyntävää liiketoimintaa. (Euroopan komissio 2015.)

Biojätteen käyttö teollisuudessa on hyödyksi ympäristöllisestä, sosiaalisesta ja taloudellisesta näkökulmasta. Biojätteestä valmistettavien polttoaineiden mahdollinen kannattavuus ohjaa sijoituksia yhä enemmän biojalostamoihin kuin perinteiseen jätehuoltoon. Biojätteen laatu, tyyppi ja alueellinen jakauma vaikuttavat kuljetuksiin ja sen myötä sen hyödyntämiseen sekä sopivuuteen biojätteen jalostusprosesseihin. Vaatimuksena prosessien toimivuudelle on yleensä tarpeeksi suuri volyymi. (Alibardi, Cossu & Girotto 2015: 35-36).

3. KULJETUKSET KIERTOTALOUDESSA

Kiertotalouden edellytyksenä on luonnollisesti myös kuljetusten siirtyminen kohti kiertotalouden toimintamalleja. Kuten teollisuus ja tuotanto, niin myös kuljetusala on kohdannut haasteita resurssien niukkuuden ja ilmastonmuutoksen takia. Suurin osa maailmalla toteutuvista kuljetuksista toteutuu fossiilisilla polttoaineilla ja niiden käyttö lisääntyy vuosi vuodelta. Kiertotaloudessa fossiilisten polttoaineiden käytöstä halutaan päästä eroon ja korvata ne uusiutuvilla energiamuodoilla. Jotta kuljetukset saadaan kiertotalouden arvojen mukaisiksi, on nykyisten kuljetusmallien rakenteisiin saatava merkittäviä muutoksia. (Larsson 2018: 185-187.)

3.1. Haasteet tulevaisuuden kuljetuksissa

Suurin haaste kuljetusjärjestelmille tulevaisuudessa tulee olemaan muutos uusiutuvan energian käyttöön. Jotta uudet järjestelmät ja energiamuodot tulisivat tarpeeksi kilpailukykyisiksi fossiilisiin polttoaineisiin nähden, täytyisi niiden täyttää tietyt vaatimukset.

Ensinnäkin uusiutuvien energiamuotojen täytyy muuttua nopeasti entistä houkuttelevimmiksi sijoituskohteiksi ja hinnan myötä kilpailukykyisemmiksi. Myös uusiutuvia polttoaineita käyttävien ajoneuvojen tulisi kehittyä tehokkaammiksi ja houkuttelevimmiksi vaihtoehtoiksi, jotta myös pidemmät matkat onnistuisivat uusiutuvaa energiaa käyttäen. Resurssien käytön tehokkuus on olennaisessa roolissa muutoksen aikaansaamiseksi. Tehokkuus tulee näkyä mahdollisimman laajalti aina polttoaineiden valmistuksesta latauspisteiden investointeihin ja jakelukanavainfrastruktuurin investointeihin. (Larsson 2018: 190-191.)

Tällä hetkellä niin yritykset kuin kotitaloudetkin ovat jokseenkin varovaisia ja odottavaisia tulevaisuuden suhteen. Kuljetuksissa ja liikenteessä on meneillään murrosvaihe, eikä tiedetä mikä polttoainetyyppi tai energiamuoto tulee vallitsemaan tulevaisuudessa. Näyttää myös siltä, että markkinat eivät tule näyttämään selkeätä suuntaa kuljetusmuotojen kehityksestä. Tätä vaatisi muutos kiertotalouden mukaisiin kuljetuksiin. Nykyisten järjestelmien tulee siis kehittyä laajalti tehokkaimmiksi ja tuottavimmiksi, sillä potentiaalia on paljon. Edes kaikki maanviljelystä syntyvät tuotteet eivät riittäisi kuin murto-osaan maailmalla käytetyn öljyn määrään verrattuna. (Larsson 2018: 192.) Vaikkakin tieto vaihtoehtoisten polttoaineiden kustannuksista ja hyödyistä on lisääntynyt viime vuosina merkittävästi, on myös paljon epäselvyyksiä. Epäselvyys ja rajattu tiedon määrä vähentävät innokkuutta investointeihin. Vaihtoehtoisten polttoaineiden markkinat eivät kasva merkittävästi, sillä rajoituksia esiintyy niin kysynnän kuin tarjonnan osalta. Muutoksen aikaansaamiseksi tarvitaan toimia julkiselta sektorilta. (Cullinane, Edwards ja Leonardi 2015: 287-288.)

Raskaiden ajoneuvojen, kuten kuorma-autojen ja jäteautojen, osalta tilanne on vielä monimutkaisempi. Raskaat ajoneuvot ja kuormat tuottavat omat ongelmansa, sillä niiden liikuttaminen vaatii suuret määrät polttoainetta. Diesel on ollut maantiekuljetuksiin erinomaisesti soveltuva, sillä yhdellä tankillisella on voinut ajaa jopa 1000 kilometriä yhtäjaksoisesti. Uusiutuvien polttoaineiden kapasiteetti on selkeästi pienempi. Esimerkiksi sähkökuorma-autoissa akut kasvavat herkästi liian suuriksi vieden tilaa kuormalta. Pienten akkujen kapasiteetti ei riitä kuin lyhyille etäisyyksille. (Larsson 2018: 205.)

Nesterova ja Quak (2014: 266) luettelevat artikkelissaan kaupunkilogistiikan haasteita. Kuljetukset urbaaneilla alueilla vaikuttavat negatiivisesti niin ihmisiin, taloudellisiin tuloksiin kuin myös ympäristöön. Ongelmana usein on useiden eri toimijoiden erilaiset intressit. Tämän vuoksi myös ympäristöystävällisten ja kestävien ratkaisuiden löytäminen kuljetusten toteuttamiseksi on hankalaa. Yhtenä haasteena kaupunkilogistiikan kehittämisessä onkin siinä, että eniten saasteista ja meluhaitoista kärsivät kaupunkien asukkaat, kun taas

päätökset ja ratkaisut tehdään yrityksissä. Yksityisten kuljetusalan toimijoiden intressinä on kestävyiden sijaan saada toiminnasta mahdollisimman taloudellisesti tehokasta.

3.2. Toimet kuljetusten kehittämiseksi kiertotalouden mukaisiksi

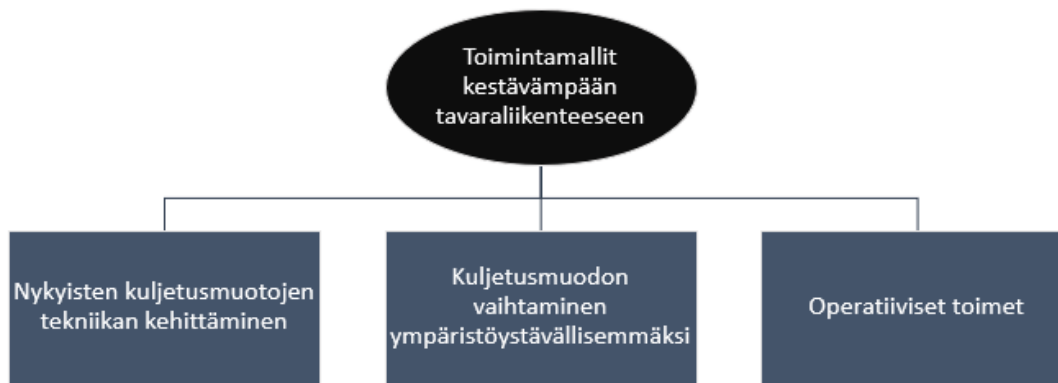
Niin kaupungeissa kuin maanteillä kuljetuksissa on merkittävästi kehitettävää kestävyiden ja kiertotalouden näkökulmasta. Yksi merkittävimmistä keinoista kuljetusten muuttamiseksi lineaarisesta mallista kiertotalouteen on vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö. Kuljetussektorilla merkittävimpiä vaihtoehtoja ovat biodiesel, maakaasu, biometaan, vety ja sähkö (Cullinane ym. 2015: 278).

Larssonin (2018: 192) mukaan tämänhetkisen tiedon valossa sähkö on kaikista tehokkain kuljetusten polttoaine. Perusteluna tälle on se, että kaikissa maissa on jo olemassa valmiit tuotantolaitokset ja jakeluverkostot sähkölle. Muiden uusiutuvien polttoainemuotojen valmistaminen vaatii merkittäviä investointeja tuotantoon ja toimitusketjuihin. Lisäksi sähköntuotannossa on menossa murros, jossa uusiutuvat sähköntuotannon tavat lisääntyvät ja tehostuvat. Jotta raskaat ajoneuvot saataisiin myös sähköllä toimiviksi, tarvitaan autoja lataavia kaistoja turvaamaan tarpeeksi pitkät ajomatkat. (Larsson 2018: 192–195.) Myös Dominkovicin ym. (2018: 1835) toteuttaman tutkimuksen mukaan kaikki kuljetusmuodot olisivat järkevintä muuttaa sähköistetyiksi, jos siihen vaan teknisesti kyetään. Tutkimuksen mukaan kuljetussektorilla on tällä hetkellä mahdollista muuttaa 72,3 % fossiilisten polttoaineiden kysynnästä sähköön. Tämä laskisi kuljetusalan energian tarvetta jopa puoleen nykyisestä tarpeesta. Jäljelle jäävä osuus 26,7 % voitaisiin korvata muilla uusiutuvilla energiamuodoilla. Sähkökuorma-autojen käyttö kuitenkin tuskin lisääntyy ennen kuin siitä tulee yhtä kannattavaa dieselillä toimivien autojen kanssa (Larsson 2018: 206).

Sen lisäksi, että panostetaan uusiutuviin energiamuotoihin ja luodaan kapasiteettia niiden valmistukseen, voidaan energiaa säästää myös kehittämällä nykyistä kuljetusjärjestelmistä entistä energiatehokkaampia. Tehostaminenkaan ei kuitenkaan ole ilmaista, vaan se vaatii investointeja. Eri arvioiden mukaan energiamäärän säästämiseen tarvitaan vain noin kolmannes investointeja verrattuna kapasiteetin lisäämiseen samalla määrällä. Säästötoimenpiteet ottavat kuitenkin aikansa. Uusien tuotteiden ja mahdollisuuksien tuominen markkinoille vaatii paljon mainontaa ja aktiivista myyntiä. Lisäksi järjestelmät ovat monimutkaisia, minkä vuoksi yritysten täytyy tehdä perusteelliset analyysit niiden mahdollisuuksista, kehittymisestä ja käyttöönotosta. Yritysten varallisuus uusiin investointeihin on rajallista, mikä hidastaa tehokkaampien moottorien käyttöönottoa. (Larsson 2018: 199–201.)

Kuljetusten ympäristövaikutuksiin voidaan vaikuttaa myös operatiivisilla toimilla. Etuna operatiivisissa toimissa on se, että ne tuovat myös taloudellisia säästöjä. Operatiivisia toimia voivat esimerkiksi olla turhien kuljetusten ja virhekuljetusten vähentäminen, kuljetettavan lastin eräkoon kasvattaminen, kuljetusnopeuksien laskeminen sekä ajotavan kehittäminen polttoainetehokkaaksi. Myös tehokkaalla kaupunki- ja aluesuunnittelulla voidaan saada kuljetusten kulutusta pienemmäksi. (Tapaninen 2018: 122–123.)

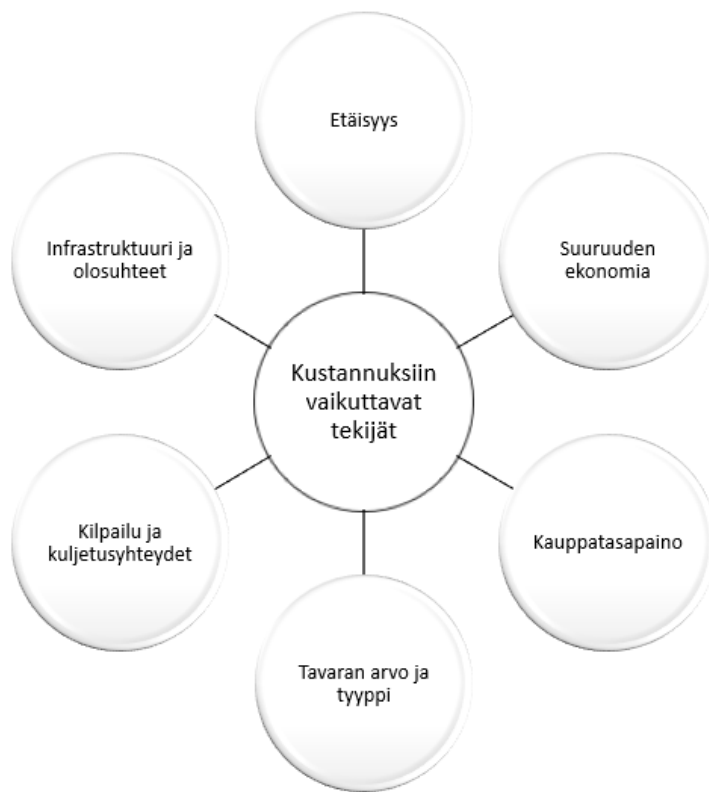
Tapanisen (2018:122) mukaan ympäristövaikutusten vähentämiselle on kolme eri toimintamallia. Operatiivisten toimien lisäksi vaikutuksia voidaan pienentää kehittämällä teknisiä ratkaisuja tehokkaammiksi tai vaihtamalla kuljetusmuotoja energiatehokkaampiin ja vähemmän saastuttaviin vaihtoehtoihin (ks. Kuva 3).



Kuva 3 Toimintamallit tavaraliikenteen ympäristövaikutusten vähentämiseen (Tapaninen 2018:122).

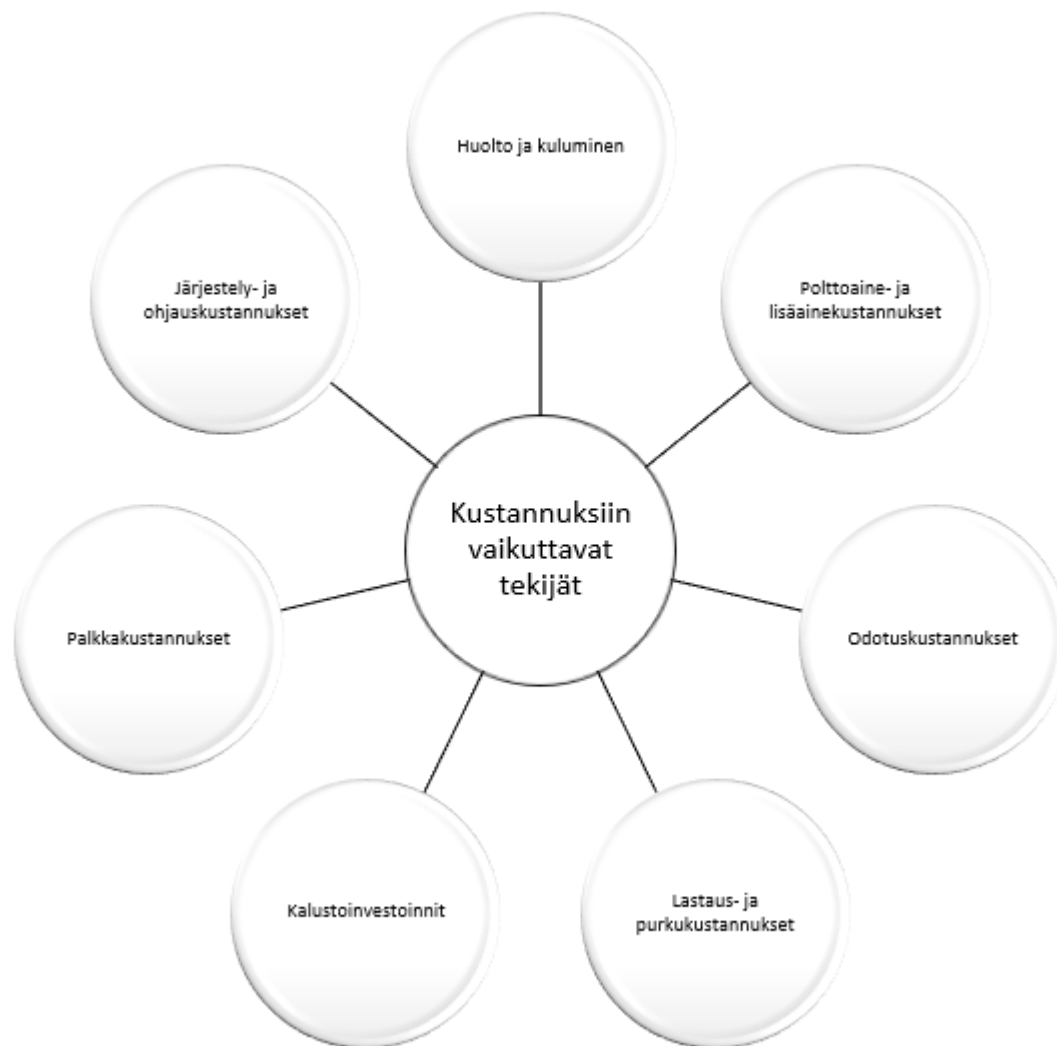
3.3. Kuljetuskustannukset

Kuljetuksista aiheutuvia kustannuksia voidaan tarkastella kahdesta eri näkökulmasta: liikennejärjestelmätasolla tai kuljetusyritystasolla. Liikennejärjestelmätasolla kuljetuskustannuksiin vaikuttavat: etäisyys, kuljetuserän koko, kauppapasapaino, tavarantyyppi ja arvo, kilpailu ja kuljetusyhteydet sekä infrastruktuuri ja olosuhteet (ks Kuva 4).



Kuva 4 Kuljetuskustannuksiin vaikuttavat tekijät liikennejärjestelmätasolla (Tapaninen 2018: 32-33).

Kuljetusyritystasolla kustannuksiin vaikuttaa hieman eri tekijät (ks Kuva 5). Merkittäviä kustannuseriä syntyy esimerkiksi investoinneista kalustoon ja kaluston huoltoihin. Suurimmat kustannukset syntyvät kuljetusyrityksille polttoaineista, pääomasta ja henkilöstöstä. Kustannusten jakautuminen riippuu kuljetusmuodosta, joten eri kustannusten jakautumisen suhde vaihtelee. Kustannuksiin vaikuttaa lisäksi useat muut eri tekijät riippuen kuljetusyrityksen toimialasta. Kuljetusyritykset pyrkivät luonnollisesti minimoimaan kuljetuksista aiheutuvat kustannukset. (Tapaninen 2018: 33.)



Kuva 5 Kuljetuskustannuksiin vaikuttavat tekijät kuljetusyrityksissä (Tapaninen 2018: 33).

4. JÄTELOGISTIIKKA

4.1. Jätteiden kierrätys Suomessa

Suomessa jätehuollossa toimitaan EU:n jätedirektiivien mukaisesti. Lainsäädännön pyrkimyksenä on välttää jätteistä ja niiden huollosta aiheutuvia ympäristö- ja terveyshaittoja, lisätä kestävästä luonnonvarojen kulutusta, varmistaa jätehuollon toimivuus, jätteiden määrän ja haitallisuuden vähentäminen sekä roskaantumisen ehkäiseminen. (Laaksonen, Merilehto, Pietarinen & Salmenperä 2017:16.)

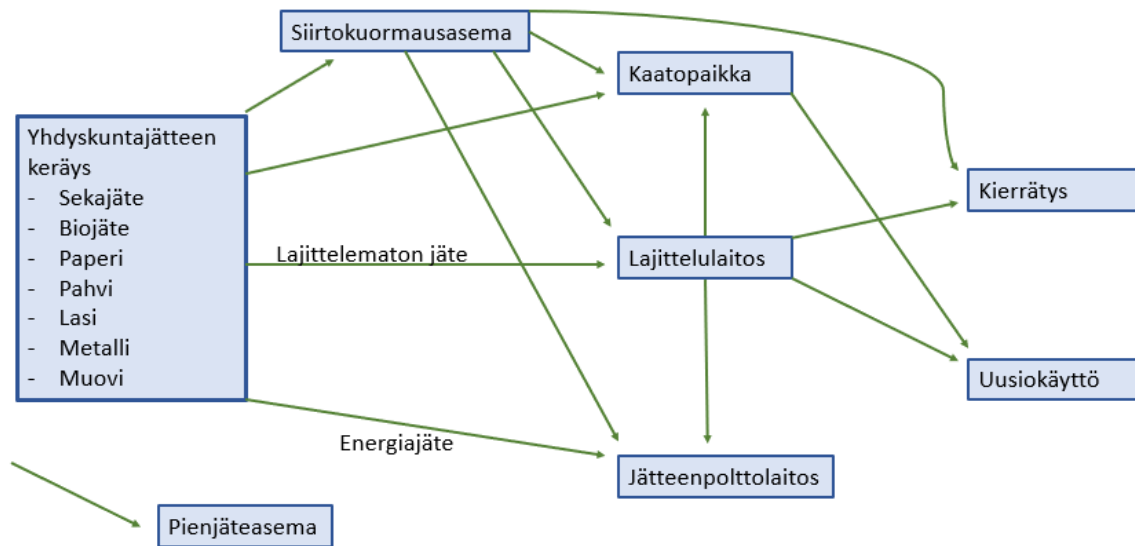
Ensisijaisesti jätteen haltija on Suomessa vastuussa jätteistä. Haltija voi olla esimerkiksi yritys tai yksityishenkilö. Siinä tapauksessa, jos jätteen haltija ei huolehdi jätteistään, täytyy kiinteistön haltijan järjestää jätehuolto. Kuntien vastuulla on järjestää yhteiskuntajätteelle jätehuolto. Yhteiskuntajätteeseen kuuluvat muun muassa asumisesta syntyvät jätteet sekä kouluissa ja terveydenhuollossa syntyvät jätteet. Tietyissä tapauksissa myös pienten liikkeiden jätteet voivat kuulua kunnan vastuulle. Yhdyskuntajätteen lisäksi kunnilla on velvollisuus huolehtia maataloudesta syntyvästä vaarallisesta jätteestä. Useimmiten kunnat kilpailuttavat yksityisiä jätehuoltoyrityksiä, jotka sitten toteuttavat jätehuoltoa alueella. (Laaksonen ym. 2017: 18.)

Myös tuottajilla on oma vastuunsa jätehuollossa. Tuottajien vastuuseen kuuluu käytettyjen tuotteiden jätehuollon järjestäminen. Tuottajavastuu rajautuu kuitenkin vain tiettyihin tuotteisiin, joita ovat paperituotteet, pakkaukset, paristot ja akut, sähkö- ja elektroniikkalaitteet, ajoneuvojen renkaat sekä ajoneuvot. Pakkaustentuottajilla on yhteinen yhtiö Pakkauskierrätys RINKI Oy, joka huolehtii kierrätysinfran rakentamisesta ja raportoinnista viranomaisille. Sähkö ja elektroniikkaromusta vastaa viisi eri yhteisöä. (Laaksonen ym. 2017: 19-20.)

Suomessa yhdyskuntajätettä syntyy vuosittain noin 500 kilogrammaa per asukas. Yhdyskuntajäte koostuu suurimmalta osin muovista, biojätteestä sekä paperista ja kartongista. Yhdyskuntajätteen kierrättämisessä on vielä paljon kehitettävää. Vuonna 2015 yhdyskuntajätteestä kierrätettiin noin 40 %. Kierrätysastetta pyritään kiertotalouden aikaansaamiseksi Suomessa kehittämään jatkuvasti. Tehostamista tulisi tapahtua erityisesti lajittelussa, kierrättämisessä ja keräysjärjestelmien laajentamisessa. (Laaksonen ym. 2017: 44-47.)

4.2. Jätteen keräyksen ja kuljetusten ketju

Jätteiden kuljetusketju muodostuu tuottajien, kiinteistöhuoltoyritysten, kuntien, jätehuoltoyritysten ja käsittelyoperaattoreiden yhteistyöstä. Kaikilla tekijöillä on omat vastuunsa jätteiden ympäristöystävällisessä ketjussa. Ei ole olemassa vain yhtä tiettyä jätelogistista ketjua, vaan kuljetusketjuja on useita erilaisia. Ketjun kulkuun vaikuttavat muun muassa kerättävän jätteen laji, keräysalue ja keräyspisteet (ks. Kuva 6). (Berg, Granqvist & Uusitalo 2001:20.)



Kuva 6 Jätteiden kuljetusketju (Berg ym. 2001: 21).

EU:n sisällä tällä hetkellä vielä noin puolet jätteistä päättyy kaatopaikoille. Noin 36 % jätteistä kierrätetään ja kymmenes jätteistä päättyy maantäytöksi. Lopusta noin viidestä prosentista jätteitä tehdään energiaa. Kaatopaikoille päätyvän jätteen määrä tulee kuitenkin jatkossa vähentymään uusien lainsäädäntöjen myötä. (Hidalgo, Martin-Marroquin & Corona 2019: 481.)

Jätehuoltoketju on jatkuvassa muutoksessa, kun uusia entistä älykkäämpiä teknologioita kehitetään jätteiden keruuseen lajitteluun ja jalostamiseen. Yhdyskuntajätteestä syntyvän markkinan arvoa arvioidaan useiden kymmenien miljardien eurojen suuruiseksi. Tulevaisuudessa kuljetusketju voi näyttää hyvinkin erilaiselta. Yritysten rooli voi olla hyvinkin suuri jätteenkäsittelyssä, sillä siitä varastoitava energia voi luoda merkittäviä etuja liiketoiminnalle. (Sitra 2015: 78-88.)

5. TUTKIMUSMENETELMÄT

5.1. Menetelmä

Tässä tutkimuksessa käytettiin kvantitatiivista tutkimusmenetelmää. Kvantitatiivisessa tutkimusmenetelmässä käsitellään asioita numeroiden avulla. Numeroina esitettävä tieto tulkitaan ja selitetään tutkimuksessa sanallisesti. (Vilkka 2007, 14.)

Tutkimuksen empiirinen osuus on toteutettu käyttäen päätöksentekoa helpottavia järjestelmiä. Päätöksentekoa helpottavat järjestelmät ovat työkaluja, jotka helpottavat päätöksentekoa etsittäessä jollekin ongelmalle parasta mahdollista ratkaisua. Parhaan mahdollisen tuloksen saamiseksi tutkimuksessa käytetään useita eri työkaluja. (Helo, Tuomi, Kantola & Sivula 2019; 17.)

5.2. Tiedon kerääminen

Vilkan (2007; 35) mukaan tiedonkeruussa on olennaista, että aineistoa voidaan mitata tai se on muutettavissa mitattavaan muotoon. Tässä tutkimuksessa tutkimusaineisto on kerätty internetistä löytyvistä tilastoista ja aineistoista. Tietoa tutkimusta varten on kerätty monipuolisesti erilaisista julkaisuista, tilastokeskuksen tilastoista, yritysten laatimista tilastoista sekä yritysten lähettämistä sähköpostiviesteistä.

Tutkimuksen luonteen takia ei ole olennaista kerätä aineistoa henkilökohtaisesti etukäteen laaditulla kyselyllä, systemaattisilla havainnoilla tai erillisellä haastattelulomakkeella. Jäteautojen kuljetuskustannusten mallintamiseen tarvittava aineisto löytyy virallisista tilastoista ja rekistereistä. Määrällisessä tutkimuksessa kaikki saatavilla oleva informaatio

kelpaa aineistoksi tutkimukseen, mikäli se on mahdollista muuttaa mitattavaan muotoon (Vilkkä 2007: 31).

5.3. Aineiston käsittely

Analyysimenetelmä valikoidaan määrällisessä tutkimuksessa sen perusteella, mikä antaa parhaiten vastauksia valittuun tutkimusongelmaan (Vilkkä 2007; 119). Tässä tutkimuksessa tarkoituksena oli optimoida jätekuljetusten reitti ja laskea kuljetuskustannukset kierrätyspisteiltä jäteasemalle eri kuljetusmuotoja käyttäen (kaasu, diesel, sähkö ja leasing). Reitti optimoitiin käyttäen Openrouteservice -sovellusta.

Tilastokeskuksen väestöruutu toimi aineistona valitun tutkimusalueen määrittämisessä. Väestöruudusta suodatettiin tutkimuksen kannalta olennainen alue, jonka avulla pystyttiin määrittämään tutkimukselle olennainen keruureitti. Väestöruudun aineistoa käsitellään tutkimuksessa Microsoft Excelin 3D-maps sovellusta hyödyntäen.

Jäteauton kustannusten laskemiseen tutkimuksessa hyödynnettiin Microsoft Exceliä. Aineisto laskentaa varten on kerätty internetistä useista eri ulkoisista lähteistä. Laskentakaavat perustuivat SKAL ry:n laatimaan ohjeistukseen ajoneuvojen kustannuslaskennan perusteista.

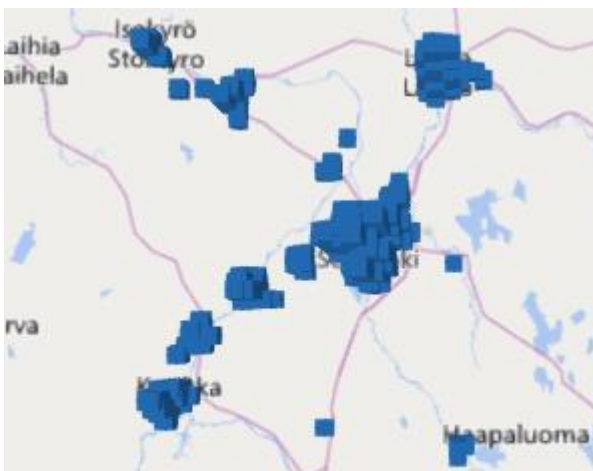
6. TUTKIMUSTULOKSET

6.1. Laskentaperusteet

6.1.1 Reitin muodostuminen

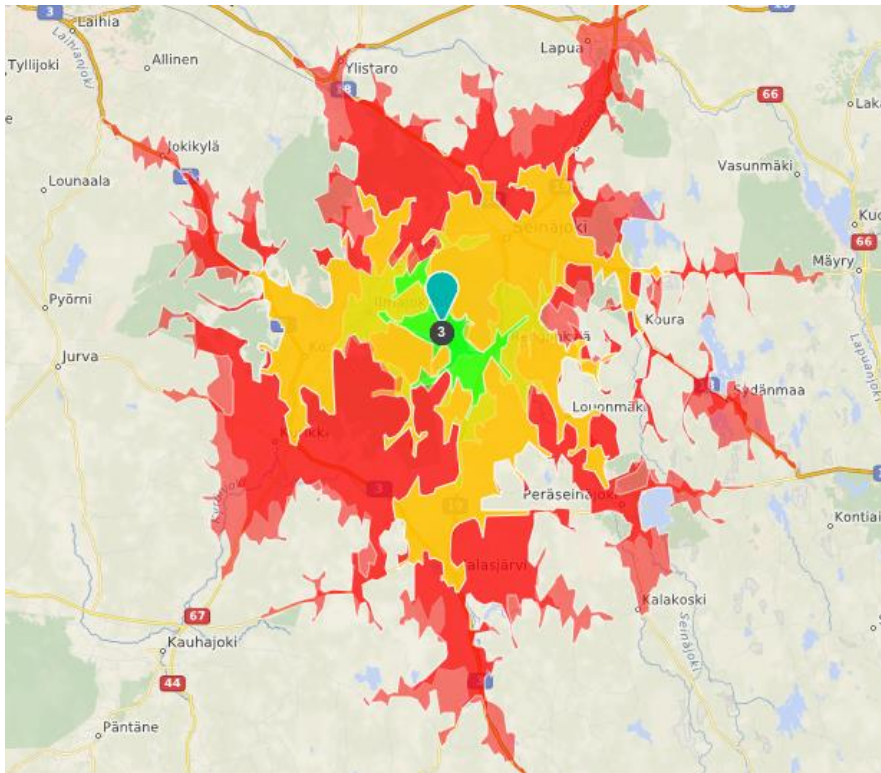
Seinäjoen seudun jätehuollon käytännön järjestämisen hoitaa Lakeuden Etappi Oy. Lakeuden Etappi Oy:n ylläpitämistä jäteasemista keskeisimmäksi asemaksi valikoitui biojätteen keräämisen suhteen Ilmajoen jäteasema. Olennaista oli valita mahdollisimman keskeinen sijainti, josta etäisyydet pysyvät kohtuullisina kaikkiin suurimpiin asutuskeskuksiin Seinäjoen järjestetyn jätehuollon alueella. Ilmajoen jäteasema sijaitsee Seinäjoen ja Kurikan välissä 18,5 kilometrin etäisyydellä Seinäjoen keskustasta.

Tilastokeskuksen väestöruudun avulla määriteltiin, millä alueilla syntyy päivittäin suuria määriä biojätettä. Kuvassa 7 on esitetty neliökilometriruutuina alueet, joissa biojätettä kertyy päivittäin yli kymmenen kilogrammaa.



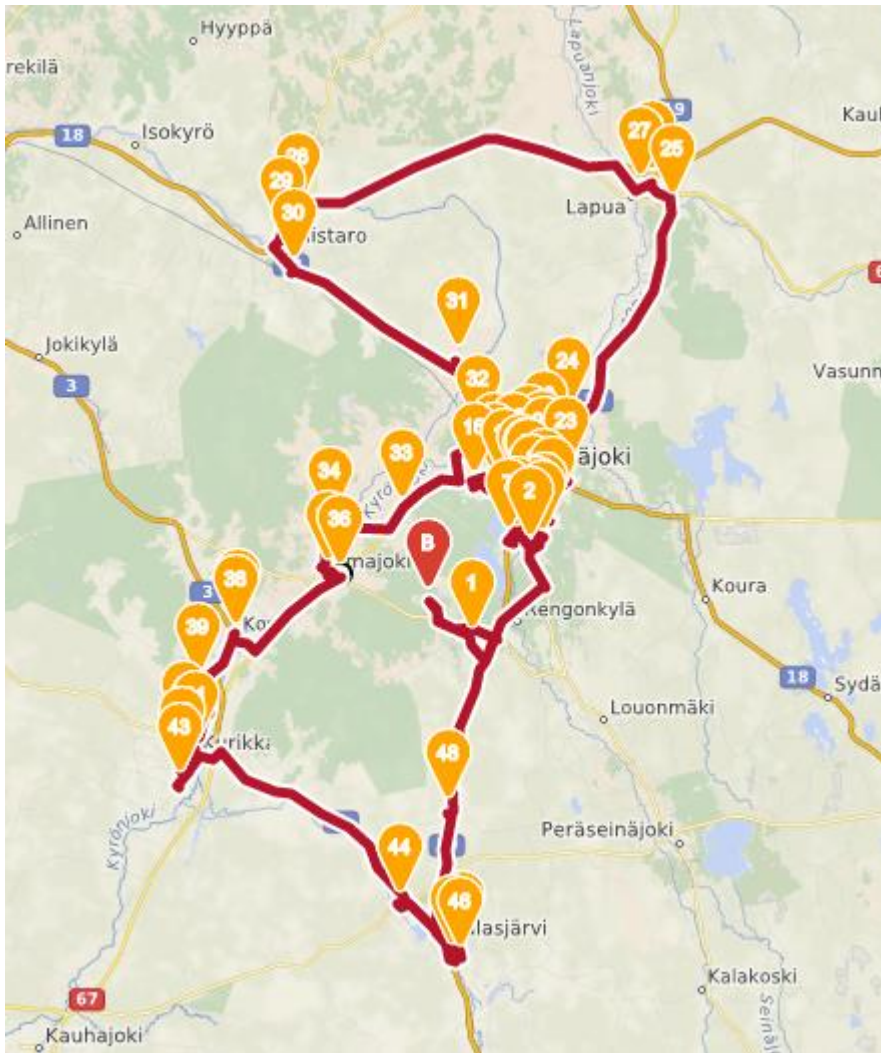
Kuva 7 Neliökilometrialueet yli 10kg biojätepäiväkertymä

Tavoitteena on saada kerättyä mahdollisimman paljon biojätettä alueelta, joka voidaan saavuttaa yhdellä sähkökuorma-auton latauskerralla. Reitin optimointisovelluksen (Open route service) avulla tutkimusalueeksi valikoitui alue, joka sijaitsee keskimäärin 45 minuutin ajomatkan säteellä valitusta jäteasemasta (ks.Kuva 7).



Kuva 8 Alue 45 minuutin ajomatkan säteellä jäteasemasta

Edellä kuvattujen aluerajausten sisällä sijaitsee 48 Rinki-ekopistettä. Rinki ekopisteet toimivat biojätteen keruupaikkoina. Laskennassa käytettävä reitti kulkee näiden ekopisteiden kautta, nopeinta mahdollista reittiä. Reitin pituus on 250,3 km. Nopeusrajoituksia noudattaen reitin ajamiseen kuluu 5 tuntia ja 8 minuuttia. Kun otetaan huomioon pysähdyksiin kuluva aika sekä lakisääteiset tauot, kokonaisajaksi muodostuu yhden henkilön työpäivän pituus.



Kuva 9 Päivittäinen ajoreitti keruupisteiden välillä

LCA Constulting OY:n tekemässä selvityksessä (2017) havaittiin, että ”mitä pienempi ja omakotitalovaltaisempi kunta, sitä enemmän keräyksen kustannukset kasvaisivat suhteessa nykytilaan”. Eri selvitykset ovat osoittaneet, että biojätteen kohdalla keruupisteiden määrän lisääminen lisäisi erityisen paljon kustannuksia verrattuna muihin jätelajeihin (LCA Consulting Oy 2019:32). Tämän vuoksi on perusteltua valita keruupisteiksi harvemmin sijoitetut Rinki-ekopisteet.

6.1.2 Laskentaluvut

Tilastokeskuksen määritelmän mukaisesti yhdyskuntajätettä ovat kotitalouksissa syntyneet jätteet ja palvelualoilla syntyneet kotitalousjätteisiin rinnastettavat jätteet (Tilastokeskus 2020). Yhdyskuntajätettä syntyi Suomen kotitalouksissa vuonna 2014 yhteensä 2 629 879 tonnia. Biojätettä yhdyskuntajätteestä on 24 % ja sen kierrätysaste on 40 %. (Moliis, Nevala & Salmenperä 2015). Suomen väkiluku marraskuussa 2019 oli 5 527 405 henkeä. Suomessa kertyy yhdyskuntajätettä asukasta kohden noin 480 kiloa vuodessa, päivää kohden noin 1,3 kiloa. Biojätettä kertyy asukasta kohden 0,3 kg päivässä, josta kierrätykseen päätyy noin 0,1 kg. Tutkimusalueella asuu väestöä yhteensä 103480. Biojätekeräykseen päätyy alueella tällöin 10553 kg. Vuodessa keräykseen päätyy 3650 tonnia biojätettä.

Kuljetusajoneuvoiksi tutkimukseen valikoitui Volvon kolmeakselinen FE-kuorma-auto kolmella eri voimalähteellä varustettuna: kaasulla toimiva CNG EURO6, dieselillä toimiva D8K320 sekä sähköllä toimiva malli FE electric. CNG EURO6 hinta on 111 747 euroa alv. 0%, D8K320 hinta on 80 950 euroa alv 0% ja FE electricin hinta on arviolta 350 000 euroa alv 0%. Kuorma-autot varustetaan Norba N3 22H25 jätepuristimella, jonka hankintahinta on 61 201 euroa alv 0 %. Jäteauton vuokraaminen maksaa 6500 euroa kuukaudessa (Truckrental 2020).

Tutkimuksessa käytettiin laskennassa kuorma-auton kuljettajan keskimääräisenä palkkana 14 euroa/tunti (Auto- ja kuljetusalan työntekijäliitto ry 2019). Biokaasun hinta tutkimusalueella on kaasuyritys Gasumin hinnaston (2020) mukaisesti 1,43 euroa/kg. Dieselkustannukset laskettiin käyttämällä vuoden 2019 keskimääräistä hintaa 1,4 euroa/litra. (Tilastokeskus 2020).

6.2. Kustannusten muodostuminen

Kuljetuskustannukset voidaan ryhmitellä vakiintuneen käytännön mukaan seuraavasti:

Kuljetustyökustannukset	-Palkkakustannukset -Välilliset palkkakustannukset
Kiinteät kuljetuskalustokustannukset	-Pääomakustannukset -Liikennöimismaksut -Hallinnointikustannukset -Ylläpitokustannukset -Vakuutusmaksut
Muuttuvat kuljetuskalustokustannukset	-Polttoainekustannukset -Lisäainekustannukset -Korjaus ja huoltokustannukset -Rengaskulut

Taulukko 1. Kuljetusten toimintolaskennan sovellukset ja toteutus. (Liikenne ja viestintäministeriö 2003)

Tutkimuksen kohdealueen asukasmäärä on 103480 (väestöruutu 2019). Aasukkaat tuottavat biojätettä päivittäin noin 10500 kilogrammaa, joka on litroina 26384. Jätepakkaajan tilavuus on 21 kuutiometriä. Alueella vuorokaudessa syntyvä jätemäärä mahtuu kokonaisuudessaan yhteen pakkaajaan. Koko jätemäärän keräämiseen riittää tällöin päivässä yksi keräilykierros. Kierretessä kaikki alueen keräyspisteet, reitin pituus on 250,3 km päivässä. Vuodessa kilometrejä kertyy tällöin 65000.

Kuljettajan työpäivän pituus on 8 tuntia. Kun keräyspisteet tyhjennetään päivittäin, kertyy työtunteja 2080 vuodessa. Kuorma-auton kuljettajan keskimääräinen palkka on 14 euroa tunnissa. Välillisiä palkkakustannuksia ovat sosiaalimenot, lomakorvaukset, sairausajan palkat ja palkalliset vapaapäivät. Välillisten palkkakustannusten vaihteluväli on 65–73

prosenttia kuljettajan palkkakustannuksista. Tässä tutkimuksessa välillisten kustannusten osuudeksi on valittu 69 prosenttia palkkakustannuksista.

Polttoaineen kulutukseen vaikuttavat useat eri tekijät, minkä vuoksi tarkka laskenta on vaikeaa. Laskelmat sisältävät tämän vuoksi usein yksinkertaistettuja lähtöolettamuksia. Keräilyajossa polttoainetta kuluu enemmän verrattuna tavalliseen maantieajoon (Nguyen & Wilson 2008: 287). Kun keruupisteitä on 250 kilometrin matkalla vajaa viisikymmentä, kuljetusten luonne on lähempänä perinteistä raskaan ajoneuvon ajoa. Kulutus raskailla diesel ajoneuvoilla on noin 35 litraa 100 kilometriä kohden (Nguyen & Wilson 2008: 292). Suomen hallituksen esityksen (2020) mukaan kaasukäyttöisten CNG kuorma-autojen keskkulutus on 25,5 kg sadalla kilometrillä.

Sähkökäyttöisen kuorma-auton kulutus on noin 100 kWh sadan kilometrin matkalla. Riittävän toimintaetäisyyden takaamiseksi akkuja täytyy ladata kerran päivässä. Ajon päätteeksi auto laitetaan lataukseen.

Muuttuviin kustannuksiin vaikuttavat polttoainekustannusten lisäksi mahdolliset lisäainekustannukset, korjaus- ja huoltokustannukset sekä rengaskulut. Lisäainekustannuksia syntyy ainoastaan dieselkäyttöisissä ajoneuvoissa, joissa riittävien päästövaatimusten saamiseksi täytyy käyttää AdBlue-urealiuosta.

Kiinteät kuljetuskalustoon liittyvät kustannukset muodostuvat ajoneuvosta syntyvistä pääomakustannuksista, liikennöimismaksuista, ylläpitokustannuksista sekä vakuutusmaksuista. Myös yrityksen hallinnointikustannukset lasketaan mukaan kiinteisiin kustannuksiin. Hallinnointikustannukset koostuvat kirjanpito-, atk-, ja puhelinkustannuksista sekä muista hallinnointiin liittyvistä kuluista. Laskelmissa hallinnointikustannuksena käytetään arviota koko vuoden kuluista. Pääomakustannukset sisältävät auton arvonaleneman, pääoman koron sekä pääoman. Liikennöimismaksuja ovat katsastusmaksut ja ajoneuvoverot. Ylläpitokustannukset syntyvät ajoneuvon säilytyksestä, puhdistamisesta ja pienvarusteista. Ylläpitokustannuksena käytetään laskelmissa arviota,

sillä tarkkoja kustannuksia ei pystytä määrittelemään. Vakuutusmaksut koostuvat laskelmissa ajoneuvon liikenne- ja autovakuutuksesta. Tiekuljetusvakuutusta ei tarvita, sillä kuljetettavalla materiaalilla ei ole merkittävää arvoa eikä se ole helposti tuhoutuvaa.

6.2.1 Laskentakaavat

Palkkakustannukset	$\text{Vuorokauden työtunnit}(h) \times \text{Työpäivien määrä}(kpl) = \text{Kuljettajan palkkatunnit}(h)$ $\text{Kuljettajan palkkatunnit}(h) \times \text{Keskituntipalkka}\left(\frac{\text{€}}{h}\right) = \text{Kuljettajan vuosipalkka}(\text{€})$ $\frac{\text{Välilliset palkkakust.}(\%) \times \text{kuljettajan palkka}(\text{€})}{100} = \text{Välilliset palkkakustannukset}(\text{€})$
Muuttuvat kustannukset	$\frac{\text{Polttoaineen kulutus}\left(\frac{l}{100km}\right)}{100} \times \text{Polttoaineen hinta}(\text{€}) = \text{Polttoainekustannukset}(\text{€/km})$ $\text{Dieselin kulutus}\left(\frac{l}{km}\right) \times \frac{1}{20} \times \text{Lisäaineen hinta}\left(\frac{\text{€}}{l}\right) = \text{Lisäainekustannukset}\left(\frac{\text{€}}{km}\right)$ $\text{Pinnoitettavien renkaiden määrä} \times \text{Pinnoituksen hinta}\left(\frac{\text{€}}{kpl}\right) = \text{Rengaskulut}(\text{€})$

Kiinteät kustannukset	$Uushankintahinta \times \left(1 - \frac{\text{Arvonaleneminen (\%)}}{100}\right)^{\text{pitoaika}}$ $= \text{Jäännösarvo (€)}$ $\frac{Uushankintahinta (\text{€}) - \text{Jäännösarvo (€)}}{\text{Pitoaika (a)}}$ $= \text{Vuosispoisto } \left(\frac{\text{€}}{a}\right)$ $\text{Korkokerroin} \times \text{Vuosispoisto } \left(\frac{\text{€}}{a}\right) = \text{Pääoman korko } \left(\frac{\text{€}}{a}\right)$ $\frac{\text{Korkoprosentti (\%)}}{\text{Arvonalenemisprosentti (\%)}} = \text{Korkokerroin}$

Taulukko 2 Ajoneuvon kustannuslaskennassa käytettävät laskukaavat (SKAL Ry).

6.3. Kustannukset ajoneuvoittain

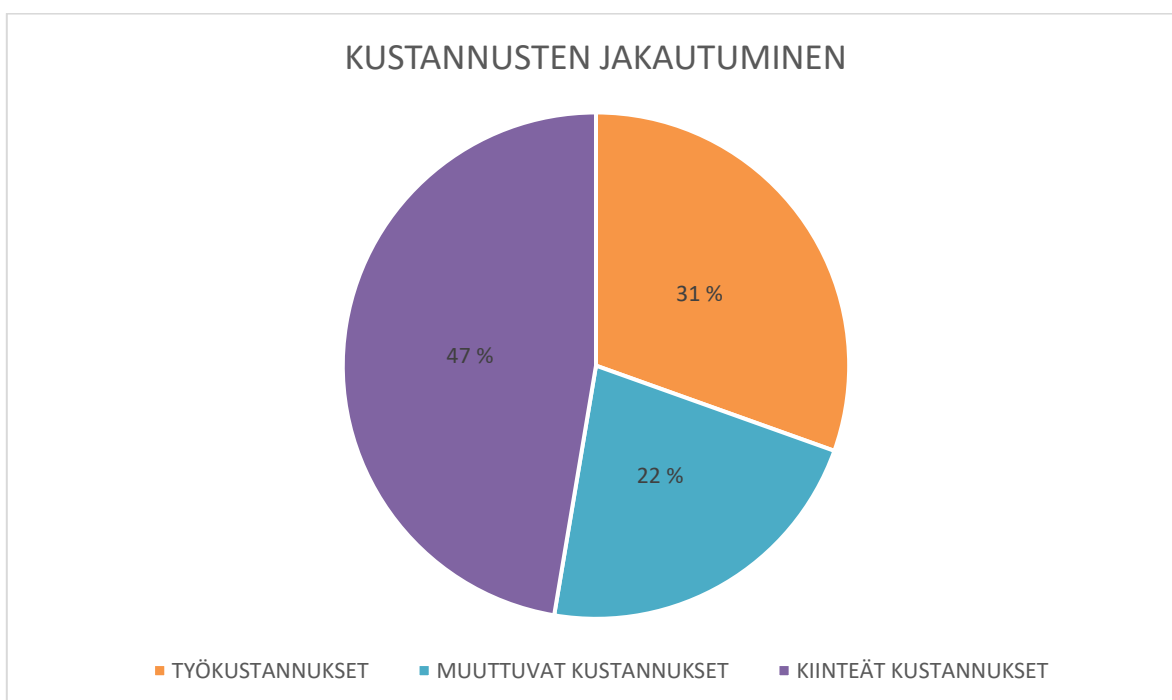
Tässä kappaleessa esitetään tutkimuksessa käytettyjen ajoneuvojen jätteiden keräämisestä viiden vuoden aikana kertyneet kustannukset. Tulokset eivät ole absoluuttisia, sillä on mahdotonta arvioida polttoaineen ja lisäaineen hintojen vaihtelua. Tulokset antavat kuitenkin selkeän kuvan siitä, mistä eri ajoneuvojen kuljetuskustannukset muodostuvat. Laskut on toteutettu edellä kuvattuja arvoja käyttäen. Biojätteiden keräämisen kustannukset Seinäjoen seudulla vaihtelee vuositasolla 112000 eurosta 169 000 euroon. Ajoneuvon valinnalla on siis merkittävä vaikutus syntyviin kustannuksiin. Viiden vuoden aikaväliä tarkastellessa kustannukset vaihtelevat yli sadoilla tuhansilla euroilla käyttövoimasta ja omistussuhteesta riippuen.

6.3.1 Leasing

Leasing-autossa kustannukset säilyvät vuositasolla vakiona. Viiden vuoden aikana kokonaiskustannuksia syntyy yhteensä 807720 euroa. Kustannukset jakautuvat niin, että 47% kustannuksista on kiinteitä kustannuksia, 31 % työkustannuksia ja 22% syntyy muuttuvista kustannuksista. Merkillepantavaa auton vuokraamisessa on se, että vuositasolla kustannukset pysyvät vakiona 161544 eurossa. Hankintakustannuksia ei vuokratessa tule ollenkaan.

DIESEL KÄYTTÖVOIMANA (LEASING)	1.VUOSI	2.VUOSI	3.VUOSI	4.VUOSI	5.VUOSI	YHTEENSÄ
TYÖKUSTANNUKSET	49213	49213	49213	49213	49213	246065
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET	35831	35831	35831	35831	35831	179155
KIINTEÄT KUSTANNUKSET	76500	76500	76500	76500	76500	382500
KUSTANNUKSET VUODESSA	161544	161544	161544	161544	161544	807720

Taulukko 3 Leasing-jäteajoneuvon käyttökustannukset viiden vuoden aikana



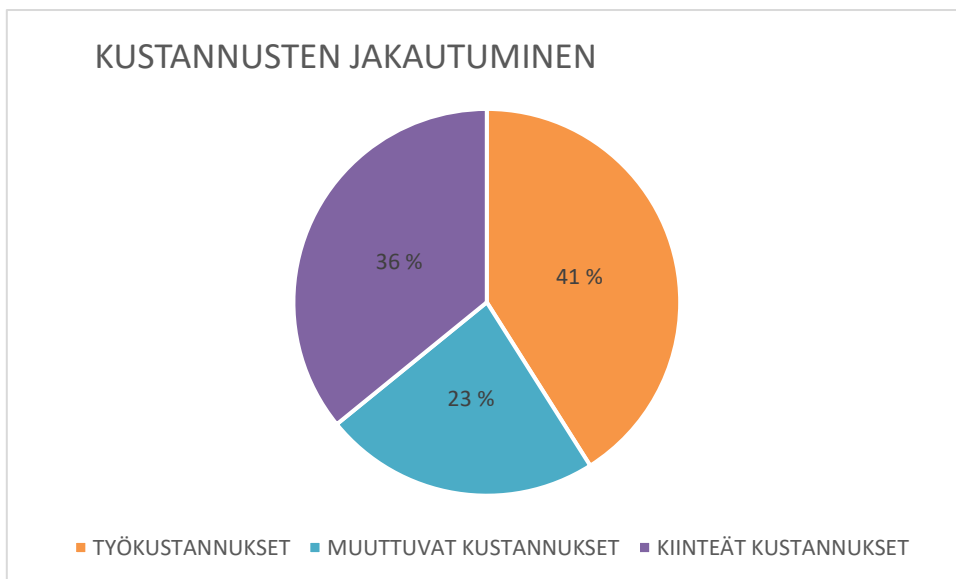
Kuva 10 Leasing-ajoneuvon käyttökustannusten jakautuminen

6.3.2 Kaasu

Tutkimuksen laskelmissa käytetyn kaasukäyttöisen jäteauton hankintahinta on 172948 euroa. Käyttökustannukset valitulla reitillä on viiden vuoden aikana yhteensä 599901 euroa. Hankintahinta huomioon ottaen kaasutoimisen jäteauton kustannukset nousevat viidessä vuodessa 772849 euroon. Kaasuaajoneuvon osalta suurin osuus kustannuksista syntyy työkustannuksista, 41%. Kiinteät kustannukset muodostavat 36 % osuuden kustannuksista ja loput 23% ovat työkustannuksia.

KAASU KÄYTTÖVOIMANA	1.VUOSI	2.VUOSI	3.VUOSI	4.VUOSI	5.VUOSI	YHTEENSÄ
TYÖKUSTANNUKSET	49213	49213	49213	49213	49213	246064
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET	27740	27740	27740	27740	27740	138701
KIINTEÄT KUSTANNUKSET	51898	46737	42367	38652	35481	215135
KUSTANNUKSET VUODESSA	128851	123690	119320	115605	112434	599900

Taulukko 4 Kaasukäyttöisen ajoneuvon käyttökustannukset viiden vuoden aikana



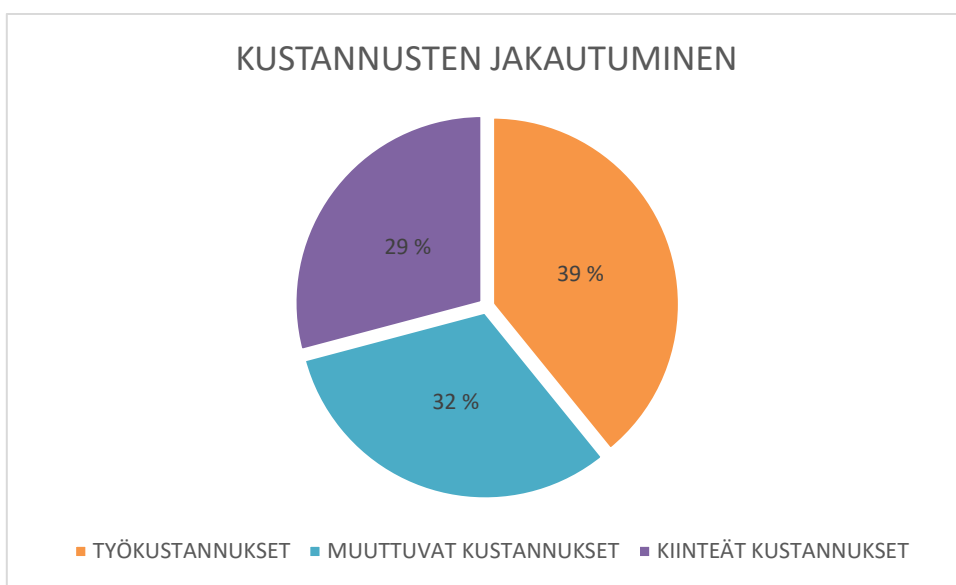
Kuva 11 Kaasukäyttöisen ajoneuvon käyttökustannusten jakautuminen

6.3.3 Diesel

Uutena hankitun dieseltoimisen jäteauton hankintahinta on 142151 euroa ja käyttökustannukset viiden vuoden aikana ovat 628484 euroa. Kokonaiskustannukset hankintahinta huomioiden ovat siis 770635 euroa. Dieseltoimisen ajoneuvon kustannukset jakautuvat suhteellisen tasaisesti eri kustannustyyppien välillä. 39 % osuus kustannuksista koostuu työkustannuksista, 32 % muuttuvista kustannuksista ja 29 % kiinteistä kustannuksista.

DIESEL KÄYTTÖVOIMANA	1.VUOSI	2.VUOSI	3.VUOSI	4.VUOSI	5.VUOSI	YHTEENSÄ
TYÖKUSTANNUKSET	49213	49213	49213	49213	49213	246064
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET	39869	39869	39869	39869	39869	199346
KIIINTEÄT KUSTANNUKSET	43907	39664	36072	33019	30412	183075
KUSTANNUKSET YHTEENSÄ	132989	128746	125154	122101	119495	628486

Taulukko 5 Dieselkäyttöisen ajoneuvon käyttökustannukset viiden vuoden aikana



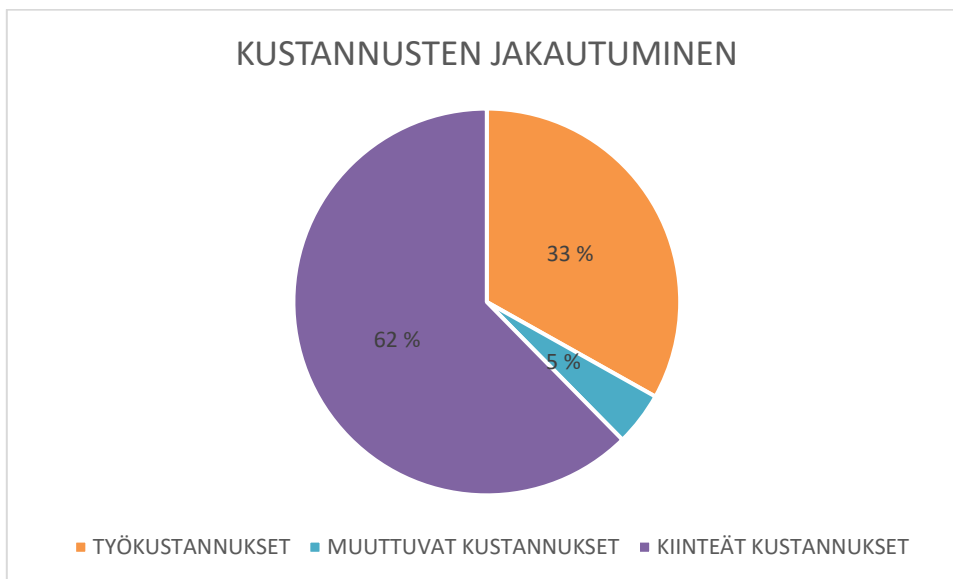
Kuva 12 Dieselkäyttöisen ajoneuvon käyttökustannusten jakautuminen

6.3.4 Sähkö

Sähkökäyttöisen ajoneuvon käyttökustannukset viiden vuoden aikana ovat 742543 euroa ja hankintakustannukset 411201 euroa. Yhteensä kustannuksia syntyy viiden vuoden aikana 1153744 euroa. Kustannuksista selkeästi suurin osa syntyy kiinteistä kustannuksista (62 %). Työkustannukset kattavat 33% osuuden kustannuksista. Muuttuvat kustannukset ovat sähkötoimisessa ajoneuvossa vähäiset, vain 5 % käyttökustannuksista.

SÄHKÖ KÄYTTÖVOIMANA	1.VUOSI	2.VUOSI	3.VUOSI	4.VUOSI	5.VUOSI	YHTEENSÄ
TYÖKUSTANNUKSET	49213	49213	49213	49213	49213	246064
MUUTTUVAT KUSTANNUKSET	6663	6663	6663	6663	6663	33315
KIINTEÄT KUSTANNUKSET	113725	101454	91064	82231	74691	463164
KUSTANNUKSET VUODESSA	169600	157329	146940	138107	130567	742543

Taulukko 6 Sähkökäyttöisen ajoneuvon käyttökustannukset viiden vuoden aikana



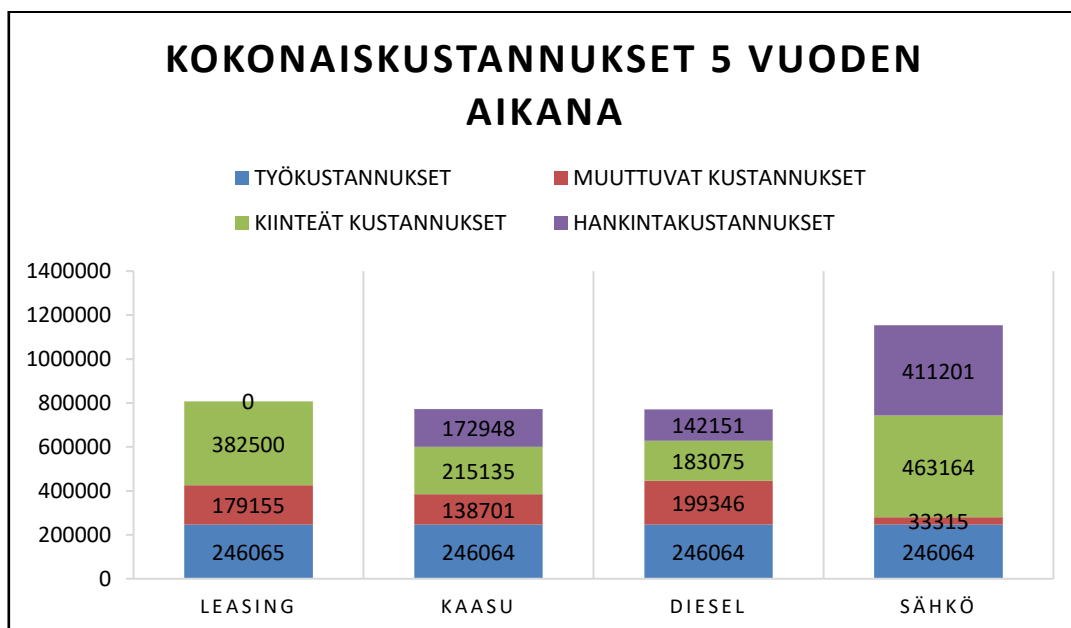
Kuva 13 Sähkökäyttöisen ajoneuvon kustannusten jakautuminen

6.4. Kustannusten vertailu

Tarkasteltaessa 5 vuoden aikana kertyneitä kokonaiskustannuksia voidaan havaita, että dieselajoneuvo on edullisin. Kalleimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui sähköauto. Kaasuajoneuvon kustannukset ovat hyvin lähellä dieselajoneuvoa.

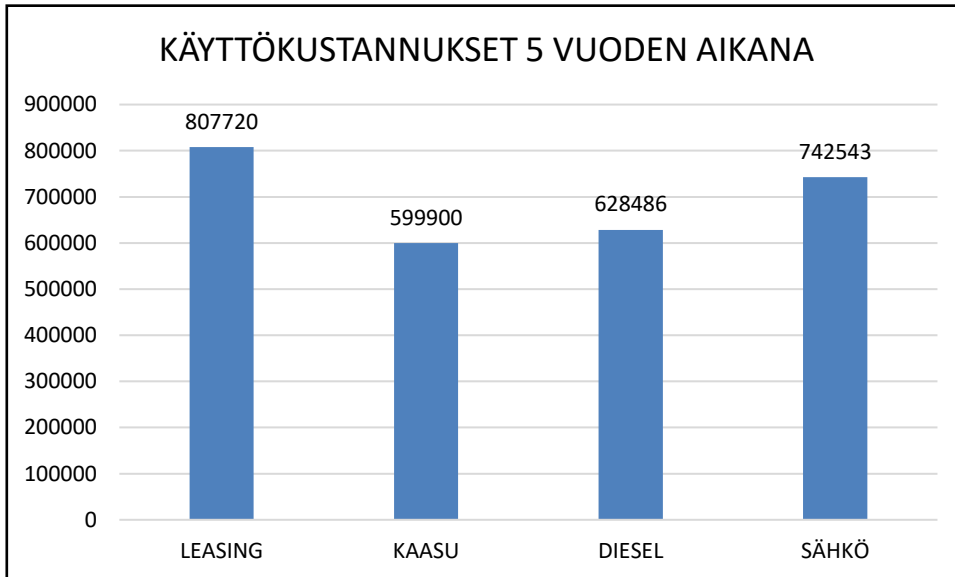
Kustannusten jakautumisessa on havaittavissa selkeitä eroavaisuuksia eri käyttövoimien välillä. Ainoastaan työkustannukset pysyvät samana ajoneuvosta riippumatta. Kokonaiskustannusten erot syntyvät suurimmilta osin hankintakustannuksien ja kiinteiden kustannusten välillä. Tarkasteltaessa ajoneuvojen käyttökustannuksia, nousevat muuttuvien kustannusten erot merkittävimiksi kokonaisuutta ajatellen.

Hankintakustannusten osalta sähköauto on selkeästi kalliimpi kuin muut vaihtoehdot yli kaksinkertaisella hankintahinnallaan kaasu- ja dieselkäyttöisiin keruuajoneuvoihin verrattuna (ks. Kuva 14). Sähköjäteauton hankintahinta on 411201 euroa, kaasujäteauton 172948 ja dieseljäteauton 142151 euroa. Leasing -jäteautossa hankintakustannuksia ei ole ollenkaan. Sähköjäteauton kallis hankintahinta nostaa myös merkittävästi ajoneuvon kiinteitä kustannuksia. Kalliimpi hankintahinta on suoraan yhteydessä poistoista syntyviin kustannuksiin, jolloin sähköautossa pääomakustannukset ovat suuremmat kuin muissa vaihtoehdoissa. Pienimmät kiinteät kustannukset ovat dieseljäteautossa, jossa myös hankintahinta on pienin, 183075. Kaasujäteauton kiinteät kustannukset ovat 215135 euroa, mikä on noin 30 000 euroa enemmän kuin dieselkäyttöisessä jäteautossa. Leasing autossa kiinteät kustannukset muodostuvat pääosin leasing -maksusta ja on näin ollen selkeästi suurin kuluryhmä.



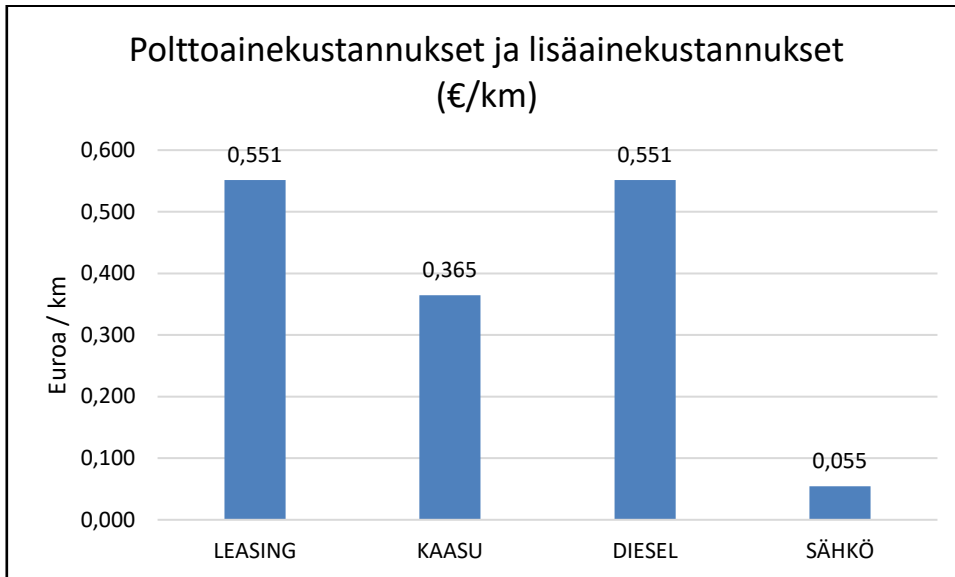
Kuva 14 Kokonaiskustannukset ajoneuvoittain 5 vuoden aikana

Käyttökustannuksiltaan edullisin vaihtoehto biojätteen keräämiseen on kaasukäyttöinen ajoneuvo 599900 euron kustannuksilla (ks. Kuva 15). Dieselajoneuvon verrattuna kustannuksia on noin 30 000 euroa vähemmän viiden vuoden aikana. Sähkö- sekä leasing-vaihtoehdot ovat käyttökustannuksiltaan selkeästi kalliimpia vaihtoehtoja. Sähköajoneuvon kustannukset ovat 143 tuhatta euroa enemmän kuin kaasujoneuvossa, ja leasing-ajoneuvon 208 tuhatta euroa enemmän.



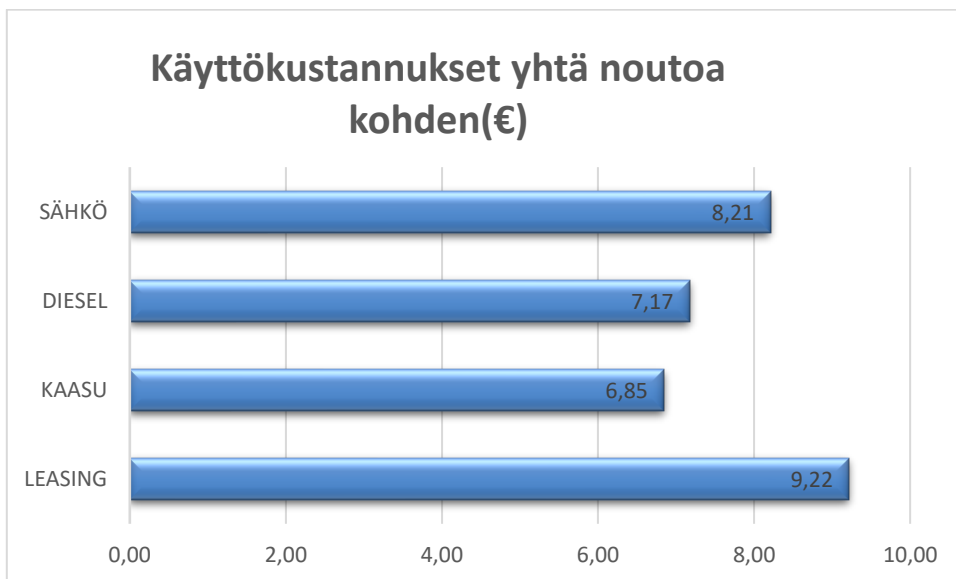
Kuva 15 Käyttökustannukset ajoneuvoittain 5 vuoden aikana

Suurimmat erot kokonaiskustannuksiin syntyy pääomakustannuksista. Käyttökustannusten eroihin vaikuttaa myös merkittävästi polttoaineista ja lisäaineista syntyvät kustannukset. Polttoainekustannusten merkitys korostuu, mikäli ajettavaa reittiä täytyy muuttaa. Kuvasta 16 voidaan nähdä, että sähköajoneuvon polttoainekustannukset ovat selkeästi muita vaihtoehtoja vähäisemmät. Sähköajoneuvon polttoainekustannukset ovat jopa 10 kertaa pienemmät kuin dieselajoneuvossa. Kaasuajoneuvon polttoainekustannukset kilometriä kohden ovat 0,365 euroa, mikä on noin kolmanneksen vähemmän kuin dieselajoneuvossa. Polttoainekustannusten vaikutus kokonaiskustannuksiin korostuu pitkällä aikavälillä, kun ajokilometrit lisääntyvät.



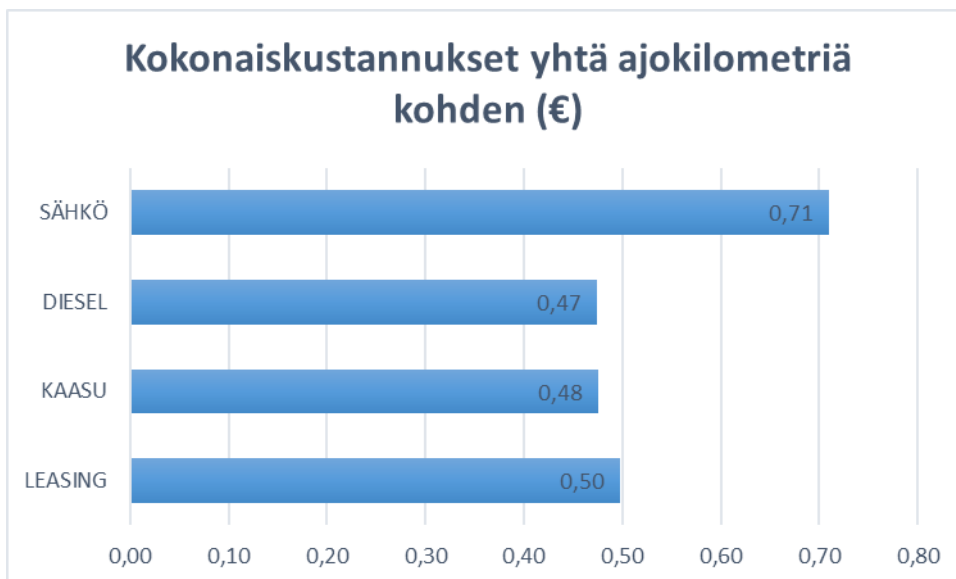
Kuva 16 Polttoainekustannukset ajoneuvoittain

Yhden biojätteen keruupisteen nouto kustantaa valitulla reitillä, riippuen ajoneuvosta, 6,85 eurosta 9,22 euroon. Kuvasta 17 voidaan nähdä, että kaasu ja leasing ajoneuvon käyttökustannukset yhtä noutoa kohden eroavat yli 2 euroa. Leasing ajoneuvon käyttökustannukset yhtä noutoa kohden ovat noin 25 % suuremmat kuin kaasutoimisen jäteajoneuvon. Sähköajoneuvon kustannukset ovat 1,36 euroa suuremmat kuin kaasujoneuvossa, joka on prosentteina 16,5 %.



Kuva 17 Käyttökustannukset yhtä noutoa kohden

Keräämisen kokonaiskustannukset yhtä ajokilometriä kohden vaihtelevat 0,47 eurosta 0,71 euroon. Dieselauton kilometrikustannus on 0,47 euroa, kaasuaajoneuvon 0,48, leasingajoneuvon 0,50 ja sähköajoneuvon 0,71 euroa yhtä ajokilometriä kohden.



Kuva 18 Kokonaiskustannukset yhtä ajokilometriä kohden

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1. Pohdinta

Tutkimustuloksia tarkastellessa voitiin nähdä, että biojätteen keräämisen kustannuksiin vaikuttavat useat eri tekijät. Biojätteen keräämisessä alueelta oli olennaista ottaa huomioon keräyspisteiden sijainti ja määrä. Keruupisteiden sijainti ja määrä muodostavat ajoneuvon kulkeman reitin. Kuljettavan reitin pituus vaikuttaa merkittävästi keräämisestä syntyviin kustannuksiin. Niin poltto- ja lisäaine kustannukset kuin kuljettajan palkkakustannukset määräytyivät kuljetun reitin pituudesta.

LCA Consulting Oy toteaa selvityksessään (2018), että biojätteen kerääminen erilliskerääminen kaikilta talouksilta voisi kasvattaa biojätteen keräämisen kustannuksia jopa 37 % nykyiseen verrattuna. Kustannusten kasvu on merkittävästi suurempi kuin saatavan biojätteen määrän lisääntyminen, joka olisi 20 %. Tämän vuoksi biojätteen keruupaikat sijoitettiin tutkimuksessa harvakseltaan keskittyen tiheästi asutetuille seuduille. Näin saatiin maksimoitua yhdellä kuljetuskerralla kerättävän biojätteen määrä. Päivittäin alueelta kerättäisiin mallinnuksen mukaan 10 500 kilogrammaa biojätettä.

Tutkimuksen tulosten mukaan kustannustehokkain vaihtoehto biojätteen keräämiselle oli viiden vuoden aikavälillä dieselkäyttöinen ajoneuvo. Kaasuajoneuvon kustannukset olivat pienimmät, kun tarkastellaan keräämisestä aiheutuvia käyttökustannuksia. Ero kaasu- ja dieselajoneuvon välillä oli viiden vuoden aikana noin 28000 euroa. Dieselajoneuvot sopeutuvat kuitenkin vaihtoehtoista heikoiten kiertotalouden periaatteisiin.

Kun tutkimuksessa tarkasteltiin vain yhtä ajettavaa reittiä, nousivat ajoneuvojen hankinta- ja omistuskustannukset, sekä polttoainekustannukset erottaviksi tekijöiksi eri kuljetusmuotojen välillä. Erityisesti sähkötoimisessa ajoneuvossa hankintakustannus nosti

kokonaiskustannuksia korkeiksi kaasu-, leasing- ja dieselajoneuvojen kustannuksiin verrattuna. Kokonaiskustannuksista suurin osuus koostui ajoneuvon kiinteistä kustannuksista. Suurimpana yksittäisenä kulueränä oli omistettavan ajoneuvon arvonaleneminen. Leasing-ajoneuvossa suurin kustannuserä oli vuokramaksut, arvonalenemisen sijaan.

Teorian mukaan kuljetuskustannukset suurimmat kustannuserät kuljetusyrityksille syntyvät pääomasta, polttoaineesta tai työvoimasta. Tutkimuksen tulokset vahvistavat väitteen. Leasing-ajoneuvo tekee sääntöön poikkeuksen, sillä omistettavaa pääomaa ei tällöin ole. Työkustannusten osuus käyttökustannuksista vaihteli ajoneuvosta riippuen 31:stä 41 prosenttiin. Kiinteiden kustannusten osuus käyttökustannuksista vaihteli 29-62 prosentin välillä. Muuttuvat kustannukset muodostivat, ajoneuvosta riippuen, käyttökustannuksista 5-32 prosentin osuuden.

Periaatetasolla Leasing-ajoneuvo sopii hyvin kiertotalouden periaatteisiin. Kustannuksiltaan Leasing-ajoneuvo on huomattavasti korkeampi kuin kaasu tai dieselajoneuvot itseomistettuna. Tutkimuksessa Leasing-ajoneuvon polttoaineena oli diesel, mikä ei ole uusiutuva polttoaine. Olettaessa huomioon sekä kustannukset että kiertotalouteen sopivuus, mielenkiintoiseksi vaihtoehdoksi nousee kaasuleasing-ajoneuvo.

Sähköajoneuvo osoittautui käyttökustannuksilta ja kokonaiskustannuksiltaan muita vaihtoehtoja kalliimmaksi. Huomioitavaa tuloksessa on se, että sähköajoneuvon polttoainekustannukset ovat kuitenkin muihin vaihtoehtoihin verrattuna huomattavasti pienemmät. Sähkötoimisten ajoneuvojen määrä on viime aikoina lisääntynyt maailmalla merkittävästi. Sähkötoiminen ajoneuvo sopii kiertotalouden periaatteisiin erinomaisesti, mutta reilusti suuremmat hankintakustannukset jarruttavat varmasti raskaiden sähköajoneuvojen lisääntymistä. Siirtyminen nykyisestä jätekuljetusmallista sähkötoimisiin kuljetuksiin vaatii vielä huomattavia kannustimia julkiselta sektorilta. Haasteena sähkökäyttöisten ajoneuvojen yleistymiselle on myös kehittymätön latausinfrastruktuuri.

Sähkön sijaan kaasutoimisen jäteauton kustannukset pysyivät maltillisina. 28 000 euron lisäkustannus viiden vuoden aikana on vielä kompensoitavissa niin, että se on taloudellisesti järkevää. LCA Consultingin tekemän selvityksen (2019) mukaan voidaan olettaa, että yksi biojätetonne vastaa jalostettuna noin 100 diesellittraa. Näin ollen voitaisiin olettaa Seinäjoen seudun biojätteestä jalostuvan päivässä hieman yli tuhatta diesellittraa vastaava määrä biokaasua. Tällä määrällä pystyttäisiin keräämään Seinäjoen seudun biojätteet kokonaisuudessaan. Lisäksi kaasua jäisi vielä yli tarpeen myytäväksi tai alueen muiden ajoneuvojen käyttöön.

Liikenne ja viestintäministeriön (2020) julkaiseman tiekartan mukaan Suomi on sitoutunut vähentämään tieliikenteen päästöjä 50 prosentilla vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteiden toteutumisen kannalta on välttämätöntä, että uusiutuvien energiamuotojen käyttö lisääntyy merkittävästi. Valtion tavoitteet tiekartan muodossa voivat vaikuttaa tulevaisuuden kustannuksiin eri tavoin. Liikenteen verotus perustuu sen tuottamiin hiilidioksidipäästöihin. Eniten hiilidioksidipäästöjä eri käyttövoimista syntyy dieselistä. Oletettavaa on, että dieselin verotus tulee nousemaan merkittävästi tulevien vuosien aikana. On hyvinkin mahdollista, että muutaman vuoden jälkeen ajoneuvojen järjestys kustannusten suhteen on täysin erilainen. Todennäköisesti vähempipäästöisten ajoneuvojen hankintaa ja omistamista tullaan tulevaisuudessa kannustamaan muun muassa verokevennyksillä ja hankintatuella.

Tutkimuksessa keskityttiin pääosin kustannuksiin ja niiden muodostumiseen yhdellä reitillä. Aiheeseen liittyvässä jatkotutkimuksessa voitaisiin käsitellä eri keräysreittien mahdollisuuksia ja niiden vaikutusta keräämisen kustannuksiin. Reitin valinnalla on merkittävä vaikutus kokonaiskustannuksiin, joten olisi mielenkiintoista tietää, miten esimerkiksi keräyspisteiden määrän lisääntyminen vaikuttaisi kustannuksiin. Myös kaasutoimisen leasing-ajoneuvon kustannuksia voisi tutkia. Jatkotutkimuksen aiheena voitaisiin myös tarkastella ajoneuvoista syntyviä hiilidioksidipäästöjä. Täten voitaisiin tutkia paremmin eri ajoneuvojen ilmastovaikutuksia.

7.2. Yhteenveto

Tämä tutkimus käsitteli Seinäjoen seudun pienten biojätevirtojen keräämisestä aiheutuvia kustannuksia ja niiden muodostumista. Tutkimusongelma oli lohkaistu KiertoDigi-projektista, jonka tavoitteena on luoda Etelä-Pohjanmaan alueelle kiertotalouskonsepti. Tämän vuoksi tutkimuksessa otettiin huomioon myös kiertotalous.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mistä pienten biojätevirtojen kustannukset muodostuvat ja mikä kuljetusmuoto on kustannustehokkain vaihtoehto biojätevirtojen keräämiselle. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös eri kuljetusvaihtoehtojen sopivuutta kiertotalouden periaatteisiin.

Aluksi tutkimuksessa perehdyttiin teorian muodossa kiertotalouden periaatteisiin. Kiertotalouden periaatteiden ja pääpiirteiden ymmärtäminen loi perustan kiertotalouden mukaisten kuljetusten käsittelemiseen. Teoriaosuudessa käsiteltiin myös kiertotalouden luomia liiketoimintamahdollisuuksia ja sen mahdollistajia. Seuraavassa kappaleessa luotiin viitekehystä kiertotalouden mukaisten kuljetusten haasteista ja kuljetusten kustannusten muodostumisesta. Kiertotalouden kuljetusten haasteiksi osoittautui uusiutuvien energiamuotojen käytön lisääminen. Ennen kaikkea fossiilisten polttoaineiden vaihtoehdot täytyisi saada taloudellisesti houkuttelevammiksi. Kuljetuskustannusten teoria osoitti, että kuljetuskustannukset muodostuvat usean eri tekijän summana. Jätelogistiikan teoriakappaleessa luotiin viitekehystä jätteiden kierrätystapoihin ja logistisiin ketjuihin. Jätelogistiikan ajurina toimii Suomessa lainsäädäntö. Teoriasta voitiin nähdä jätekuljetusketjujen pääpiirteet, jossa kerättävä jäte päättyy lajittelulaitoksille, josta jäte joko kierrätetään, uusiokäytetään, poltetaan tai viedään maantäytöksi.

Empiirisessä osuudessa määriteltiin aluksi kustannuslaskennassa käytettävien lukujen perusteet ja reitin muodostuminen. Reitin valinnassa painoivat keräyspisteiden määrä, reitin pituus ja kerättävän jätteen määrä. Keräyspisteiksi valikoitui Rinki-ekopisteet

Seinäjoen seudulta. Laskennassa käytettävät luvut saatiin useista eri lähteistä. Seuraavaksi määriteltiin laskennassa käytettävät kaavat. Varsinaiset laskelmat toteutettiin MS Exceliä hyödyntäen.

Biojätteen keräämisen kokonaiskustannukset muodostuivat neljästä pääkustannusluokasta: hankintakustannuksista, ajoneuvon kiinteistä kustannuksista, työkustannuksista ja ajoneuvon muuttuvista kustannuksista. Suurimmat kustannuserot syntyivät kiinteiden kustannusten ja hankintakustannusten eroista. Niin käyttö- kuin kokonaiskustannuksiltaan edullisin vaihtoehto oli Dieselajoneuvo. Toiseksi edullisimmaksi osoittautui kaasukäyttöinen jäteauto. Kallein ajoneuvovaihtoehto oli sähkökäyttöinen jäteauto.

Tutkimuksen tavoitteet toteutuivat, kun tutkimuksessa pystyttiin mallintamaan biojätteen keräämisen kustannukset. Jatkossa olisi tarpeen selvittää, onko kaasutoiminen jäteauto paras mahdollinen vaihtoehto jätekuljetuksiin kiertotalouden näkökulmasta. Teknologian kehityksen myötä tulevaisuuden käyttövoimia voi olla lukuisia erilaisia nykyisten lisäksi. Tulevia tutkimuksia vaihtoehtoisten käyttövoimien kustannuksista ja ympäristövaikutuksista jätekeruussa voidaan jäädä mielenkiinnolla odottamaan.

LÄHTEET

- Aarras, N. (2015). *Toisen jäte on toisen raaka-aine – Kierrätys ja uudelleenvalmistus taloudellisesti ja ekologisesti kestävässä liiketoimintamahdollisuutena*. Turun kauppakorkeakoulu. Akateeminen väitöskirja. Suomen yliopistopaino Oy – Juvenes Print, Turku 2015.
- Alibardi, L., R. Cossu & F. Girotto (2015). Food waste generation and industrial uses: A review. *Waste Management* 45: 32-41.
- Auto- ja kuljetusalan työntekijäliitto ry (2019). Kuorma-autoalalla työskentelevä kotimaan liikenteen kuljettaja. Saatavilla: https://www.akt.fi/site/assets/files/1683/kuorma-autoala_kotimaa_2019_suomi_nettiin_id_25857.pdf
- Bacekovic, I., D. Dominkovic, G. Krajacic & A. Pedersen (2018). The future of transportation in sustainable energy systems: Opportunities and barriers in a clean energy transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82: 1823-1838.
- Berg, I., J. Granqvist & O. Uusitalo (2001). Jätelogistiikan kehittäminen. *VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka tutkimusraportti 3663/01*.
- Bernard, S., S. Sauve & P. Sloan (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental development* 17: 48-56.
- Bocken, N., M. Geissdoerfer, E. Hultink & P. Savaget 2017. The Circular Economy – A new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production* 143: 757-768.
- Bodova, E. (2017). Tools of environmental management and EU circular economy. *MM science journal*: 1700-1706.

Corrado S., S. Sala (2018). Bio-Economy Contribution to Circular Economy. In: Benetto E., Gericke K., Guiton M. (eds) Designing Sustainable Technologies, Products and Policies. Springer, Cham

Ellen MacArthur foundation (2015). Growth within: A circular economy vision for a competitive europe. [Verkkodokumentti] Saatavilla: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf

Ellen MacArthur foundation (2014). Towards the Circular Economy – Accelerating the scale-up across global supply chains. [Verkkodokumentti] Saatavilla: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Towards-the-circular-economy-volume-3.pdf>

Ellen MacArthur foundation (2013): Towards the Circular Economy - Economic and business rationale for an accelerated transition. [Verkkodokumentti] Saatavilla: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>

Ellen MacArthur foundation (2015). Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. [Verkkodokumentti] Saatavilla: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation_9-Dec-2015.pdf

European Parliament (2016). Closing the loop – New circular economy package. [Verkkodokumentti] Saatavilla: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS_BRI%282016%29573899_EN.pdf

Euroopan komissio (2015). Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy. [Verkkodokumentti] Saatavilla: <https://eur->

lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF

Gasum (2020). Maa- ja biokaasun hinnat tankkausasemilla. [Verkkolähde]

Harakka, T. & S. Marin (2020). Hallituksen esitys HE 186/2020 vp. Saatavilla: https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Sivut/HE_186+2020.aspx

Helo, P., V. Tuomi, J. Kantola & A. Sivula (2019). Quick guide for Industrial Management thesis works. *Vaasan yliopiston raportteja* 14:1-39

Hekkert, M., J. Kirchherr & D. Reike 2017. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling* 127: 221-232.

Hidalgo, D., J. Martin-Marroquin & F. Corona (2019). A multi-waste management concept as a basis towards a circular economy model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 111: 481-489.

Hood, B. (2016). Make recycled goods covetable. *Nature* 531: 438-440.

Keeble, J., P. Lacy & R. McNamara (2014). Circular Advantage - Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth. [Verkkodokumentti] Saatavilla: https://www.accenture.com/t20150523t053139__w__/usen/_acnmedia/accenture/conversion-assets/dotcom/documents/global/pdf/strategy_6/accenture-circular-advantage-innovative-business-models-technologies-value-growth.pdf

Laaksonen, J., K. Merilehto, A. Pietarinen & H. Salmenperä (2017). Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023 – Taustaraportti. *Suomen ympäristö* 3/2017: 1-99.

Lacy, P. & J. Rutqvist (2015). *Waste to Wealth – The Circular Economy Advantage*. Palgrave Macmillan.

- Larsson, M. (2018). *Circular Business Models – Developing a Sustainable Future*. Palgrave macmillan.
- LCA Consulting Oy (2017). Erilliskeräyksen optimointi (Jätekukon alueella) – Ilmastonlämpenemisvaikutukset ja kustannukset.
- LCA Consulting Oy (2018). Biojätteen kiinteistökeräys ja käsittely pääkaupunkiseudulla – ympäristövaikutus- ja kustannustarkastelu
- LCA Consulting Oy (2019). Yhdyskuntajätteen keräyksellä vauhtia kiertotalouteen – Työpaketti 1.4. Analyysi biojätteen erilliskeräyksen ja käsittelyn kestävyystarkasteluista näkökulmana mahdollisuudet kestävyiden tehostamiseksi.
- Liikenne ja viestintäministeriö (2003). Kuljetusten toimintolaskennan sovellekset ja toteutus. *Liikenne ja viestintäministeriön julkaisuja 17*.
- Liikenne ja viestintäministeriö (2020). Fossiilittoman liikenteen tiekartta - työryhmän loppuraportti. *Liikenne ja viestintäministeriön julkaisuja 2020: 17*
- Moliis, K., S. Nevala & H. Salmenperä (2015). Jättemäärän ennakkointi vuoteen 2030 – Painopisteenä yhdyskuntajätteet ja kierrätystavoitteiden saavuttaminen. *Ympäristöministeriön raportteja 17*.
- Nesterova, N. & H. Quak (2014). Towards zero emission logistics: Challenges and issues for implementation of electric freight vehicles in city logistics. Teoksessa: *Sustainable Logistics*. Toim. C. Macharis, S. Melo, J. Woxenius ja T. van Lier. Emerald Publishing.
- Nguyen, T. & B. Wilson (2008). Fuel consumption estimation for kerbside municipal solid waste (MSW) collection activities. *Waste Management & Research* 28: 289-297.
- Pirkkamaa, J. (2014). Orgaanisen jätteen keräys ja käsittely suomessa. Biolaitosyhdistys. [Verkkodokumentti]

Saatavilla:

https://biokierto.fi/wpcontent/uploads/2019/06/Orgaanisen_jatteen_kerays_ja_kasittely_Suomessa.pdf

Rättö, M., M. Siika-aho & M. Vikman (2009). Yhdyskuntajätteen hyödyntäminen biojalostamossa. VTT. [Verkkodokumentti] Saatavilla: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2494.pdf>

Sadhan, K. (2016). Biomass & bio-waste supply chain sustainability for bio-energy and bio-fuel production. *Procedia Environmental Science* 31: 31-39.

Sitra (2014). Kiertotalouden mahdollisuudet Suomelle. Sitran selvityksiä 84. [Verkkodokumentti] Saatavilla: <https://media.sitra.fi/2017/02/23221555/Selvityksia84.pdf>

Sitra (2015). Benefits of Carbon Neutrality in a Rapidly Changing Business Environment. *Sitra studies* 102.

SKAL ry. Ajoneuvojen kustannuslaskennan perusteet.

Skånberg, K. & A. Wijkman (2015). The Circular Economy and Benefits for Society – Jobs and Climate Clear Winners in an Economy Based on Renewable Energy and Resource Efficiency. The Club of Rome

Stahel, W. 2019. *The Circular Economy – A User's Guide*. Oxon: Routledge.

Stahel, W. (2016). The circular economy. *Nature* 531: 435-438.

Takalo, H. (2018). Biokaasun liikennekäyttö ja kaasuaajoneuvojen kannattavuus. *Tuottava hajautettu lähienergia (EnergiaPlus) -hankkeen selvityksiä*

Tapaninen, U. (2018). *Logistiikka ja liikennejärjestelmät*. Otatieto: Tallinna.

Tilastokeskus (2020). [Verkkodokumentti] Saatavilla:
<https://www.stat.fi/meta/kas/yhdyskuntajate.html>

Tilastokeskus (2020). [Verkkodokumentti] Saatavilla:
http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__hin__khi__kk/statfin_khi_pxt_11xx.px/b

Truckrental (2020). Jäteauto. Yksityinen sähköpostiviesti 20.1.2020. Viestin saaja: Erik Majuri

Valtioneuvosto (2016). Kiertotalous Suomessa – toimintaympäristö, ohjauskeinot ja mallinnetut vaikutukset vuoteen 2030. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 25/2016.

Vilkka. H. (2007). Tutki ja mittaa – Määrällisen tutkimuksen perusteet. Tammi, Helsinki.

LIITTEET

Liite 1 Sähkötoimisen ajoneuvon kustannuslaskenta

AJONEUVON KUSTANNUSLASKENTA		FE ELECTRIC SÄHKÖ		1.VUOSI	2.VUOSI	3.VUOSI	4.VUOSI	5.VUOSI	
				411201					
Ajokilometrit vuodessa			km/a	65000	65000	65000	65000	65000	
Auton käyttömatka vuoden aikana			km	325000	325000	325000	325000	325000	
Auton pitoaika vuosina			a	1	2	3	4	5	
Polttoaineen kulutus keskimäärin			kWh/100k	100	100	100	100	100	
Renkaiden kesto			km	100000	100000	100000	100000	100000	
Ajoneuvon käyttötunnit			h/a	2080	2080	2080	2080	2080	
Kuljettajan palkkatunnit			h/a	2080	2080	2080	2080	2080	
Kuljettajien keskipalkka	14 euroa/h		€/a	29120	29120	29120	29120	29120	
Välikalliset palkkakustannukset	69 %		€/a	20092,8	20092,8	20092,8	20092,8	20092,8	
Työkustannukset yhteensä			€/a	49212,8	49212,8	49212,8	49212,8	49212,8	
Työkustannukset käyttötuntia kohti			€/h	23,66	23,66	23,66	23,66	23,66	
Polttoainekustannukset, hinta	0,0546 €/kWh		€/km	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	
Lisäainekustannukset	0 €/l		€/km	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Korjaus ja huoltokustannukset	197 €/kk		€/km	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	
Rengaskulut	250 € per pinnoituskerta		€/km	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	
Muuttuvat kustannukset yhteensä			€/km	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	
			€/a	6663,00	6663,00	6663,00	6663,00	6663,00	
Jäännösarvo			€/a	411201	316625	243801	187727	144550	111303
Arvonaleminen yhteensä	23 %vuosittain		€/a	94576	83700	74491,333	66662,75	59979,6	
Pääoman korko	2,95 % Korkokerroin	0,128261	€/a	12130,4	10735,435	9554,3232	8550,2223	7693,0357	
Vakuutusmaksut (Liikenn, auto, kuljetus ym.)			€/a	1660	1660	1660	1660	1660	
Liikennöimismaksut(ajoneuvoverot ja katsastusmaksut)			€/a	858	858	858	858	858	
Hallintokustannukset (kirjanpito, atk, puhelinkulut, jäsenmaksut ym.)			€/a	3000	3000	3000	3000	3000	
Ylläpitokustannukset (säilytys, puhtaanapito ja pienvarustekulut)			€/a	1500	1500	1500	1500	1500	
Vuokrakustannukset (leasing)			€/a	0	0	0	0	0	
Kiinteät kusannukset yhteensä			€/a	113724,6	101453,63	91063,857	82231,172	74690,836	
			€/kk	9477,05	8454,4696	7588,6547	6852,5977	6224,2363	
Kustannukset yhteensä				169600,4	157329,43	146939,66	138106,97	130566,64	
Tuntikustannukset				81,54	75,64	70,64	66,40	62,77	
Kilometrikustannukset				2,61	2,42	2,26	2,12	2,01	
Päiväkustannukset				652,31	605,11	565,15	531,18	502,18	

Liite 2 Dieselkäyttöisen ajoneuvon kustannuslaskenta

AJONEUVON KUSTANNUSLASKENTA				D8K320 DIESEL	1. vuosi	2.vuosi	3.vuosi	4.vuosi	5.vuosi	
Ajoneuvon hankintahinta					142151					
Ajokilometrit vuodessa				km/a	65000	65000	65000	65000	65000	
Auton käyttömatka koko pitoaikana				km	325000	325000	325000	325000	325000	
Auton pitoaika vuosina				a	1	2	3	4	5	
Polttoaineen kulutus keskimäärin				l/100km	35	35	35	35	35	
Renkaiden kesto				km	100000	100000	100000	100000	100000	
Ajoneuvon käyttötunnit				h/a	2080	2080	2080	2080	2080	
Kuljettajan palkkatunnit				h/a	2080	2080	2080	2080	2080	
Kuljettajien keskipalkka	14 euroa/h			€/a	29120	29120	29120	29120	29120	
Väilliset palkkakustannukset	69 %			€/a	20092,8	20092,8	20092,8	20092,8	20092,8	
Työkustannukset yhteensä				€/a	49212,8	49212,8	49212,8	49212,8	49212,8	
Työkustannukset käyttötuntia kohti				€/h	23,66	23,66	23,66	23,66	23,66	
Polttoainekustannukset, hinta	1,4 €/l			€/km	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	
Lisäainekustannukset	3,5 €/l			€/km	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	
Korjaus ja huoltokustannukset	197 €/kk			€/km	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	
Rengaskulut	279 € per pinnoituskerta			€/km	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	
Muuttuvat kustannukset yhteensä				€/km	0,613	0,613	0,613	0,613	0,613	
				€/a	39869,25	39869,25	39869,25	39869,25	39869,25	
Jäännösarvo				€/a	142151	109456	84281	64897	49970	38477
Arvonaleneminen yhteensä	23 %vuosittain			€/a	32695	28935	25751	23045	20735	
Pääoman korko	2,95	Korkokerroin	0,128261	€/a	4193	3711,23	3302,9	2955,80	2659,46	
Vakuutusmaksut (Liikenn, auto, kuljetus ym.)				€/a	1660	1660	1660	1660	1660	
Liikennöimismaksut(ajoneuvoverot ja katsastusmaksut)				€/a	858	858	858	858	858	
Hallintokustannukset (kirjanpito, atk, puhelinkulut, jäsenmaksut ym.)				€/a	3000	3000	3000	3000	3000	
Ylläpitokustannukset (säilytys, puhtaanapito ja pienvarustekulut)				€/a	1500	1500	1500	1500	1500	
Vuokrakustannukset (leasing)				€/a	0	0	0	0	0	
Kilteät kusannukset yhteensä				€/a	43907	39664	36072	33019	30412	
				€/kk	3659	3305	3006	2752	2534	
Kustannukset yhteensä					132988,7	128746,5	125154,5	122101,3	119494,5	
Tuntikustannukset					63,9	61,9	60,2	58,7	57,4	
Kilometrikustannukset					2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	
Päiväkustannukset					511,5	495,2	481,4	469,6	459,6	

Liite 3 Kaasukäyttöisen ajoneuvon kustannuslaskenta

AJONEUVON KUSTANNUSLASKENTA				CNG EURO 6 KAASU	1.VUOSI	2.VUOSI	3.VUOSI	4.VUOSI	5.VUOSI	
Ajoneuvon hankintahinta					172948					
Ajokilometrit vuodessa				km/a	65000	65000	65000	65000	65000	
Auton käyttömatka koko pitoaikana				km	325000	325000	325000	325000	325000	
Auton pitoaika vuosina				a	1	2	3	4	5	
Polttoaineen kulutus keskimäärin				kg/100km	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	
Renkaiden kesto				km	100000	100000	100000	100000	100000	
Ajoneuvon käyttötunnit				h/a	2080	2080	2080	2080	2080	
Kuljettajan palkkatunnit				h/a	2080	2080	2080	2080	2080	
Kuljettajien keskipalkka	14 euroa/h			€/a	29120	29120	29120	29120	29120	
Välilliset palkkakustannukset	69 %			€/a	20093	20093	20093	20093	20093	
Työkustannukset yhteensä				€/a	49213	49213	49213	49213	49213	
Työkustannukset käyttötuntia kohti				€/h	24	24	24	24	24	
Polttoainekustannukset, hinta	1,43 €/kg			€/km	0,3647	0,3647	0,3647	0,3647	0,3647	
Lisäainekustannukset	0 €/l			€/km	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
Korjaus ja huoltokustannukset	197 €/kk			€/km	0,0364	0,0364	0,0364	0,0364	0,0364	
Rengaskulut	279 € per pinnoituskerta			€/km	0,0258	0,0258	0,0258	0,0258	0,0258	
Muuttuvat kustannukset yhteensä				€/km	0,4268	0,4268	0,4268	0,4268	0,4268	
				€/a	27740,25	27740,25	27740,25	27740,25	27740,25	
Jäännösarvo				€/a	172948	133170	102541	78956	60796	46813
Arvonaleneminen yhteensä	23 %vuosittain			€/a	39778	35204	31331	28038	25227	
Pääoman korko	2,95 %	Korkokerroin	0,12826	€/a	5102	4515	4018	3596	3236	
Vakuutusmaksut (Liikenn, auto, kuljetus ym.)				€/a	1660	1660	1660	1660	1660	
Liikennöimismaksut (ajoneuvoverot ja katsastusmaksut)				€/a	858	858	858	858	858	
Hallintokustannukset (kirjanpito, atk, puhelinkulut, jäsenmaksut ym.)				€/a	3000	3000	3000	3000	3000	
Ylläpitokustannukset (säilytys, puhtaanapito ja pienvarustekulut)				€/a	1500	1500	1500	1500	1500	
Vuokrakustannukset (leasing)				€/a	0	0	0	0	0	
Kilnteät kusannukset yhteensä				€/a	51898	46737	42367	38652	35481	
				€/kk	4325	3895	3531	3221	2957	
Kustannukset yhteensä					128851	123690	119320	115605	112434	
Tuntikustannukset					62	59	57	56	54	
Kilometrikustannukset					1,982	1,903	1,836	1,779	1,730	
Päiväkustannukset					496	476	459	445	432	

Liite 4 Leasing-ajoneuvon kustannuslaskenta

AJONEUVON KUSTANNUSLASKENTA				LEASING		1.VUOSI	2.VUOSI	3.VUOSI	4.VUOSI	5.VUOSI
Ajokilometrit vuodessa				km/a		65000	65000	65000	65000	65000
Auton käyttömätka koko pitoaikana				km		325000	325000	325000	325000	325000
Auton pitoaika vuosina				a		5	5	5	5	5
Polttoaineen kulutus keskimäärin				l/100km		35	35	35	35	35
Renkaiden kesto				km		100000	100000	100000	100000	100000
Ajoneuvon käyttötunnit				h/a		2080	2080	2080	2080	2080
Kuljettajan palkkatunnit				h/a		2080	2080	2080	2080	2080
Kuljettajien keskipalkka		14 euroa/h		€/a		29120	29120	29120	29120	29120
Väilliset palkkakustannukset		69 %		€/a		20092,8	20092,8	20092,8	20092,8	20092,8
Työkustannukset yhteensä				€/a		49212,8	49212,8	49212,8	49212,8	49212,8
Työkustannukset käyttötuntia kohti				€/h		23,66	23,66	23,66	23,66	23,66
Polttoainekustannukset, hinta		1,4 €/l		€/km		0,490	0,490	0,490	0,490	0,490
Lisäainekustannukset		3,5 €/l		€/km		0,061	0,061	0,061	0,061	0,061
Korjaus ja huoltokustannukset		197 €/kk		€/km		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rengaskulut		250 € per pinnoituskerta		€/km		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Muuttuvat kustannukset yhteensä				€/km		0,551	0,551	0,551	0,551	0,551
				€/a		35831,25	35831,25	35831,25	35831,25	35831,25
Poistot				€/a		0	0	0	0	0
Arvonaleminen yhteensä		%vuosittain		€/a		0	0	0	0	0
Pääoman korko		%		€/a		0	0	0	0	0
Vakuutusmaksut (Liikenn, auto, kuljetus ym.)				€/a		0	0	0	0	0
Liikennöimismaksut(ajoneuvoverot ja katsastusmaksut)				€/a		0	0	0	0	0
Hallintokustannukset (kirjanpito, atk, puhelinkulut, jäsenmaksut ym.)				€/a		3000	3000	3000	3000	3000
Ylläpitokustannukset (säilytys, puhtaanapito ja pienvarustekulut)				€/a		1500	1500	1500	1500	1500
Vuokrakustannukset (leasing)				€/a		72000	72000	72000	72000	72000
Kiinteät kusannukset yhteensä				€/a		76500	76500	76500	76500	76500
				€/kk		6375	6375	6375	6375	6375
Kustannukset yhteensä						161544	161544	161544	161544	161544
Tuntikustannukset						77,67	77,67	77,67	77,67	77,67
Kilometrikustannukset						2,49	2,49	2,49	2,49	2,49
Päiväkustannukset						621,32	621,32	621,32	621,32	621,32